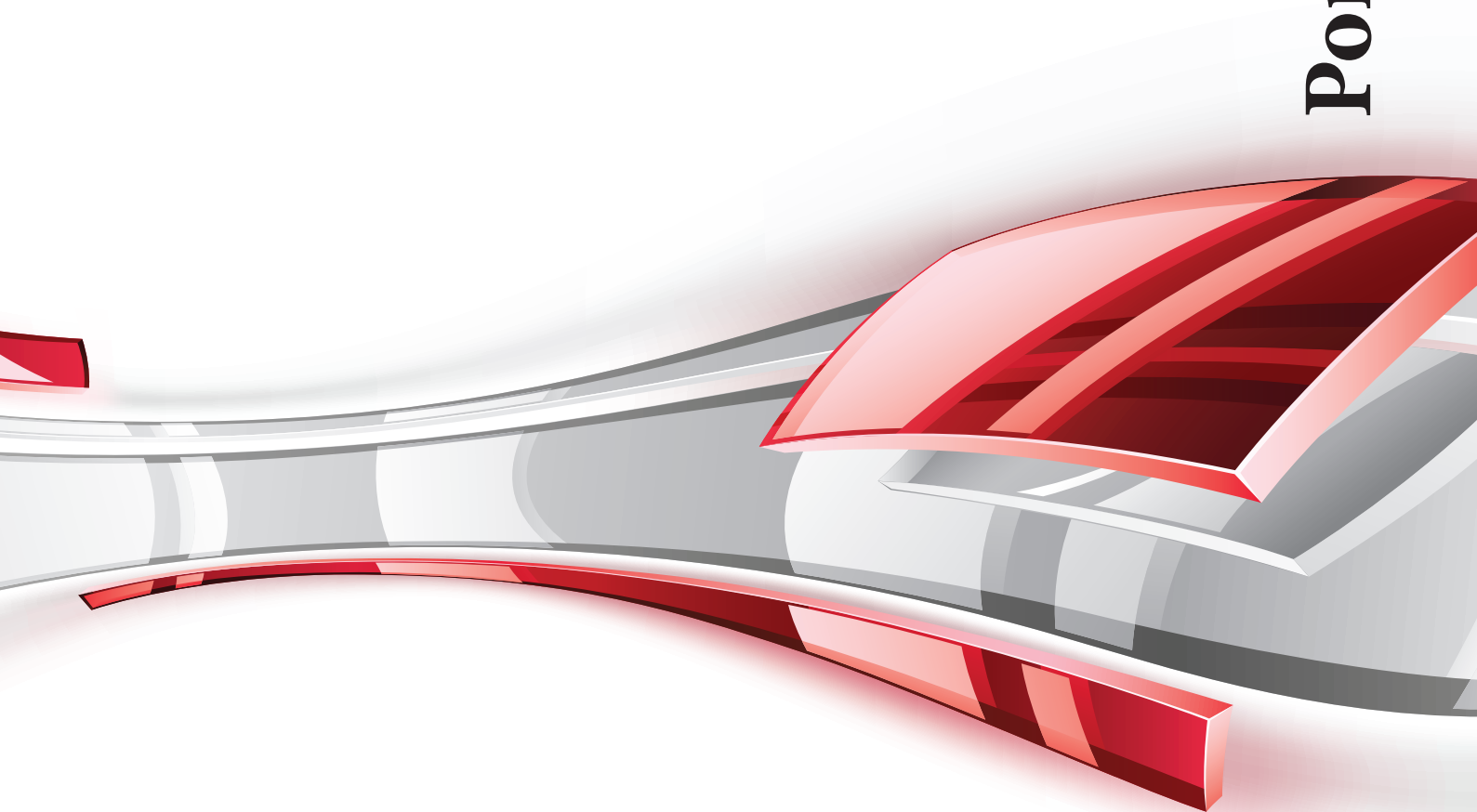
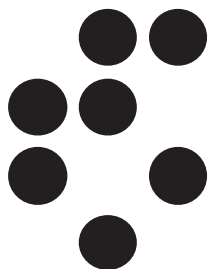
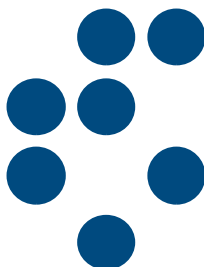


Poročilo o delu v letu 2023



Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija



Poročilo o delu v letu 2023



Poročilo o delu v letu 2023 je izdano tudi v angleškem jeziku.

Založnik: Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, Ljubljana, Slovenija
(<http://www.ijs.si>)

Urednika: dr. Luka Šušteršič in mag. Marjan Verč

Lektorica: Špela Komac, dipl. slov.

ISSN 1318-7392, e-ISSN 3023-9044

Fotografije: mag. Marjan Verč, Marjan Smerke, inž., in arhivi odsekov

Zbiranje gradiva: Suzi Korošec, inž. rač., mag. Marjan Verč

Računalniški prelom: Suzi Korošec, inž. rač.

Ljubljana, 2025

KAZALO

Spremna beseda.....	5
Pomembni mejniki v zgodovini IJS	6
Organizacijska shema IJS	8
Vodstvo IJS	10
Število in sestava sodelavk in sodelavcev po enotah	11
Izobrazba sodelavk in sodelavcev IJS	12
Prejemnice in prejemniki priznanj IJS	13
Mednarodni odbor svetovalcev	14
Umetniške razstave v galeriji IJS.....	14
Mednarodno sodelovanje.....	15
Podpisani dogovori o sodelovanju	15
ERC-projekti	15
Sodelovanje z univerzami	16
Kolokviji na IJS.....	19
Število štipendistk in štipendistov	20
Število mladih raziskovalk in raziskovalcev, sprejetih v financiranje	21
Finance.....	22
Objave in dela	23
Opravljen doktorski dela.....	24
Podeljeni patenti	24
Nagrade in priznanja	25
Institut v številkah	28
Raziskovalni odseki	
Odsek za teoretično fiziko (F-1).....	33
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2).....	45
Odsek za tanke plasti in površine (F-3).....	55
Odsek za tehnologijo površin (F-4)	59
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5).....	67
Laboratorij za plinsko elektroniko (F-6).....	87
Odsek za kompleksne snovi (F-7).....	97
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8).....	109
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9).....	119
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1).....	129
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3).....	135
Odsek za elektronsko keramiko (K-5).....	145
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7)	153
Odsek za sintezo materialov (K-8).....	173
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9)	181
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1)	189
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2).....	193
Odsek za biotehnologijo (B-3)	201
Odsek za znanosti o okolju (O-2).....	207
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1).....	225
Odsek za sisteme in vodenje (E-2)	233
Odsek za umetno inteligenco (E-3)	239
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5).....	255
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6).....	261
Odsek za računalniške sisteme (E-7).....	269
Odsek za tehnologije znanja (E-8).....	279
Odsek za inteligentne sisteme (E-9).....	289
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4).....	295
Centri in službe	
Reaktorski infrastrukturni center (RIC).....	303
Center za mrežno infrastrukturo (CMI).....	307
Znanstvenoinformacijski center (ZIC)	313
Center za energetske učinkovitost (CEU)	315
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM).....	321
Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij (CT-3).....	327
Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)	333
Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS)	337
Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS).....	339
Center tovarne prihodnosti (CToP).....	343

SPREMNA BESEDA

POMEMBNI MEJNIKI V ZGODOVINI IJS

1946

- ~ Ustanovljen je Fizikalni inštitut pri Slovenski akademiji znanosti in umetnosti (SAZU).

1949

- ~ Fizikalni inštitut SAZU se preusmeri na raziskave, povezane z miroljubno uporabo jedrske energije.

1952

- ~ Inštitut se preimenuje v Fizikalni inštitut "Jožef Stefan" in se vseli v novo stavbo.

1954

- ~ Inštitut dobi prvo večjo opremo: betatron in elektronski mikroskop.

1956

- ~ Obratovati začne pospeševalnik Van de Graaff, izdelan na Inštitutu.

1958

- ~ Inštitut se na novo organizira in določena so naslednja področja dela: jedrska fizika, fizika trdne snovi, kemija, radiobiologija.

1959

- ~ Inštitut se preimenuje v Nuklearni inštitut "Jožef Stefan" in ga financira Zvezna komisija za nuklearno energijo.



Masni spektrometer na IJS (okoli leta 1960)

1962

- ~ Na Inštitutu je sintetizirana nova spojina XeF_6 , ena prvih spojin žlahtnih plinov.
- ~ Kupljen je prvi računalnik za raziskovalno delo ZUSE Z23.

1966

- ~ Obratovati začne jedrski raziskovalni reaktor TRIGA.

1968

- ~ Zvezna komisija za nuklearno energijo (ZKNE) preneha obstajati, financiranje od Republike Slovenije postane vse pomembnejše.

1969

- ~ Inštitut se preusmeri na »nejedrsko« dejavnosti in iz imena izpusti besedo »nuklearni«.

1970

- ~ Univerza v Ljubljani postane soustanoviteljica IJS (poleg Zveznega izvršnega sveta).

1971

- ~ Ustanovljena je INOVA, inštitutska enota, ki naj bi skrbela za vključitev IJS v gospodarstvo.



Inštitutske zgradbe po odprtju leta 1953

1972

- ~ Kupljen je nov računalnik Cyber 72 in ustanovljen Republiški računski center kot samostojna enota IJS.

1974

- ~ Začne se sodelovanje z mednarodnim centrom CERN pri projektih fizike visokih energij.
- ~ Ustanovljena je skupina za evalvacijo posegov v okolje SEPO.

1976

- ~ Prvi jugoslovanski procesni računalnik z 8-bitno obdelavo podatkov DARTA 80

1979

- ~ Podpisana je pogodba o sodelovanju med IJS in Nuklearno elektrarno Krško.
- ~ Izdelan je prvi robot v Sloveniji GORO-1.

1982

- ~ Ustanovljen je Ekološki laboratorij z mobilno enoto, ki deluje kot specialna enota Republiške uprave za civilno zaščito.

1983

- ~ Izoliran je prvi od stefinov (inhibitorji cisteinskih proteinaz, imenovani po J. Stefanu) in določena njegova primarna struktura.



Reaktorski center, Podgorica, zgrajen leta 1966

1985

- ~ Raziskovalna skupnost Slovenije začne financirati projekt 2000 novih raziskovalcev.
- ~ IJS in podjetje SMELT ustanovita Center za trde prevleke.

1987

- ~ IJS ustanovi samostojno podjetje INEA, ki skrbi za prenos in uporabo raziskovalnih dosežkov na področju vodenja procesov in industrijske energetike.

1989

- ~ Ustanovljen je Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča.

1990

- ~ Na IJS je postavljen prvi superračunalnik v Sloveniji CONVEX.
- ~ Končana je večletna graditev novih laboratorijev.

1992

- ~ Ministrstvo za znanost in tehnologijo ustanovi več tehnoloških središč (infrastrukturnih centrov).
- ~ IJS postane z odlokom Vlade Republike Slovenije javni raziskovalni zavod.
- ~ Ustanovljen je Tehnološki park IJS, ki se kasneje razvije v Tehnološki park Ljubljana.



Jedrski magnetnoresonančni spektrometer

1995

- ~ IJS je soustanovitelj mednarodne podiplomske šole za znanosti o okolju Politehnika Nova Gorica.
- ~ IJS ustanovi mrežo inštitutov in centrov: ERICo – Velenje, Raziskovalni inštitut Valdoltra.

1997

- ~ Postavljen je nov pospeševalnik TANDETRON 3,5 MeV.

1999

- ~ IJS praznuje 50-letnico delovanja.

2004

- ~ IJS ustanovi Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana.
- ~ Institut je izbran za koordinatorja štirih centrov odličnosti.

2007

- ~ Nanomanipulacija posameznih atomov z nizkotemperaturnim vrstičnim tunelskim mikroskopom.
- ~ Postavljena je nova žarkovna linija ERDA/RBS na pospeševalniku TANDETRON v Mikroanalitskem centru.



Začetki robotike na IJS leta 1985

2013

- ~ Pridobljen je prvi ERC-projekt.

2015

- ~ 23. novembra 2015 je Institut "Jožef Stefan" na Reaktorskem centru v Podgorici slavnostno predal v uporabo novo in obnovljeno raziskovalno infrastrukturo za okoljske raziskave.



Nova in obnovljena raziskovalna infrastruktura za okoljske raziskave na IJS leta 2015

2020

- ~ Ustanovljen je Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem Unesca.
- ~ Objavljen je prvi razpis Inovacijskega sklada Centra za prenos tehnologij in inovacij za podporo razvoju tehnologij k višji stopnji pripravljenosti za trg.

ORGANIZACIJSKA SHEMA INSTITUTA "JOŽEF STEFAN"

UPRAVNI ODBOR

DIREKTOR

ZNANSTVENI SVET

RAZISKOVALNI ODSEKI

Fizika

Teoretična fizika (F-1)

prof. dr. Jernej Fescl Kamenik

Fizika nizkih in srednjih energij (F-2)

prof. dr. Primož Pelicon

Tanke plasti in površine (F-3)

prof. dr. Miha Čekada

Tehnologija površin (F-4)

prof. dr. Alenka Vesel

Fizika trdne snovi (F-5)

prof. dr. Denis Arčon

Plinska elektronika (F-6)

prof. dr. Uroš Cvelbar

Kompleksne snovi (F-7)

prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

Reaktorska fizika (F-8)

prof. dr. Luka Snoj

Eksperimentalna fizika osnovnih delcev (F-9)

prof. dr. Borut Paul Kerševan

Kemija in biokemija

Anorganska kemija in tehnologija (K-1)

doc. dr. Gašper Tavčar

Fizikalna in organska kemija (K-3)

prof. dr. Ingrid Milošev

Elektronska keramika (K-5)

prof. dr. Barbara Malič

Nanostrukturni materiali (K-7)

prof. dr. Sašo Šturm

Sinteza materialov (K-8)

prof. dr. Darko Makovec

Raziskave sodobnih materialov (K-9)

prof. dr. Matjaž Spreitzer

Biokemija, molekularna in strukturna biologija (B-1)

prof. dr. Boris Turk

Molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)

prof. dr. Igor Križaj

Biotehnologija (B-3)

prof. dr. Boris Rogelj

Znanosti o okolju (O-2)

prof. dr. Milena Horvat

Elektronika in informacijske tehnologije

Avtomatika, biokibernetika in robotika (E-1)

prof. dr. Aleš Ude

Sistemi in vodenje (E-2)

doc. dr. Gregor Dolanc

Umetna inteligenca (E-3)

prof. dr. Dunja Mladenec

Odpri sistemi in mreže (E-5)

doc. dr. Tomaž Klobučar

Komunikacijski sistemi (E-6)

prof. dr. Mihael Mohorčič

Računalniški sistemi (E-7)

prof. dr. Gregor Papa

Tehnologije znanja (E-8)

prof. dr. Sašo Džeroski

Inteligentni sistemi (E-9)

prof. dr. Matjaž Gams

Jedrska tehnika in energetika

Reaktorska tehnika (R-4)

prof. dr. Leon Cizelj



CENTRI

Reaktorski infrastrukturni center (RIC)
prof. dr. Borut Smodiš

Center za mrežno infrastrukturo (CMI)
dr. Jan Jona Javoršek

Znanstvenoinformacijski center (ZIC)
dr. Luka Šušteršič

Center za energetske učinkovitost (CEU)
mag. Stane Merše

Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij (CT-3)
mag. Mitja Jermol

Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)
dr. Igor Jenčič

Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)
prof. dr. Miran Čeh

Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS)
dr. Nevenka Cukjati

Center tovarne prihodnosti (CToP)
doc. dr. Igor Kovač

Mikroanalitski center (MIC)
prof. dr. Primož Pelicon

Center za mikroskopijo in detekcijo nanomaterialov (CMD-NANO) *prof. dr. Maja Remškar*

Utekočinjevalnik helija s sistemom za regeneracijo helija
prof. dr. Janez Dolinšek

Center za masno spektrometrijo
dr. Dušan Žigon

Nacionalni center za elektronsko mikroskopijo in analizo površin (CEMAP) *prof. dr. Miran Čeh*

NMR center
prof. dr. Janez Dolinšek

Center za proizvodnjo in strukturo proteinov
prof. dr. Dušan Turk

Center za nanolitografijo in nanoskopijo
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

Center za izvedbo eksperimentov fizike delcev v mednarodnih središčih
prof. dr. Marko Mikuž

Objekt vroča celica (OVC)
prof. dr. Borut Smodiš

e-Raziskovalna infrastruktura navideznih sodelovalno-raziskovalnih okolij
dr. Dušan Gabričelič

SLUŽBE IN PODPORNE DEJAVNOSTI

Službe in servisi

Sekretariat (U-2)
Tamara Kotnik, univ. dipl. prav.

Nabavna služba (U-3)
Dejan Ratković, univ. dipl. ekon.

Finančno-računovodska služba (U-4)
mag. Regina Gruden

Služba za poslovno informatiko (U-5)
Jože Kašman, prof. mat.

Mednarodna projektna pisarna (U-6)
mag. Marja Mali

Služba za vsebinsko podporo projektom, prenos tehnologij in inovacije (U-7)
dr. Levin Pal¹, mag. Robert Blatnik²

Služba za povezovanje z gospodarstvom (U-8)
France Podobnik, univ. dipl. ekon.

Služba za projektno informatiko, organizacijo strokovnih dogodkov in konferenc (U-9)
mag. Marjeta Trobec

Tehnični servisi (TS)
Aleš Cesar, univ. dipl. inž. grad.

Podporne dejavnosti

Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS)
mag. Matjaž Stepišnik

Služba za zagotovitev kakovosti (QA)
dr. Andrej Prošek

Delavnice
Matjaž Nimac

VKLJUČENOST IJS V REGIJSKI RAZVOJ RAZISKOVALNE DEJAVNOSTI

Tehnološki park Ljubljana

Univerza v Novi Gorici

Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana

Tehnološki centri

Nanotesla Institut Ljubljana

Razvojni center za vodikove tehnologije

Tehnološki center za avtomatizacijo, robotizacijo in informatizacijo proizvodnje (ARI)

Centri odličnosti

Nanoznanosti in nanotehnologije – NANOCENTER

NAMASTE, zavod za raziskave in razvoj naprednih nekovinskih materialov s tehnologijami prihodnosti

Integrirani pristopi v kemiji in biologiji proteinov – CIPKeBiP

Polimerni materiali in tehnologije – PoliMaT

EN – FIST

Biosenzorika, instrumentacija in procesna kontrola – CO BIK

Nizkoogljicne tehnologije – CO NOT

Vesolje, znanost in tehnologije – SPACE.SI

¹ do 30. 6. 2023

² od 1. 7. 2023

VODSTVO IJS

VODSTVO

Direktor

Prof. dr. Boštjan Zalar

Pomočniki direktorja

Dr. Romana Jordan, za evropske zadeve

Dr. Špela Stres, LL.M, MBA, za evalvacijo in kakovost

Svetovalka

Marta Slokan, univ. dipl. prav.

UPRAVNI ODBOR

Dr. Mark Pleško, *Cosylab, d. d., Ljubljana, predsednik UO*

Dr. Gregor Kramberger, *IJS*

Prof. dr. Ingrid Milošev, *IJS, namestnica predsednika UO*

Janez Novak, *RLS Merilna tehnika, d. o. o., Komenda*

Peter Sterle, *Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije*

Dr. Jernej Štromajer, *Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, do 8. 5. 2023*

Prof. dr. Aleš Švigelj, *IJS*

Mag. Vojmir Urlep

Mag. Tanja Vertelj, *Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije*

ZNANSTVENI SVET

Prof. ddr. Boris Turk, *predsednik ZS IJS*

Prof. dr. Denis Arčon, *namestnik predsednika od 26. 1. 2023*

Prof. dr. Leon Cizelj

Prof. dr. Miran Čeh

Prof. dr. Sašo Džeroski, *namestnik predsednika*

Prof. dr. Svjetlana Fajfer, *do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Milena Horvat

Prof. dr. Borut Paul Kerševan, *od 26. 1. 2023*

Doc. dr. Tomaž Klobučar, *od 26. 1. 2023*

Prof. dr. Anton Kokalj, *od 26. 1. 2023*

Prof. dr. Matej Lipoglavšek

Dr. Mitja Luštrek, *do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Barbara Malič

Prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović, *do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Mihael Mohorčič, *do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Igor Muševič, *namestnik predsednika do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Gregor Papa, *od 26. 1. 2023*

Doc. dr. Gašper Tavčar, *do 26. 1. 2023*

Prof. dr. Aleš Ude

Prof. dr. Boštjan Zalar, *direktor Instituta*

Prof. dr. Rok Žitko, *od 26. 1. 2023*

NEKDANJI DIREKTORJI



Akad. prof. dr.
Anton Peterlin,
prvi direktor IJS

Akad. prof. dr. Anton Peterlin, ustanovitelj in prvi direktor IJS, 1949–1955

Karol Kajfež, 1955–1958

Lucijan Šinkovec, 1959–1963

Prof. dr. Milan Osredkar, 1963–1975

Prof. dr. Boris Frlec, 1975–1984

Prof. dr. Tomaž Kalin, 1984–1992

Prof. dr. Danilo Zavrtanik, 1992–1996

Prof. dr. Vito Turk, 1996–2005

Prof. dr. Jadran Lenarčič, 2005–2020



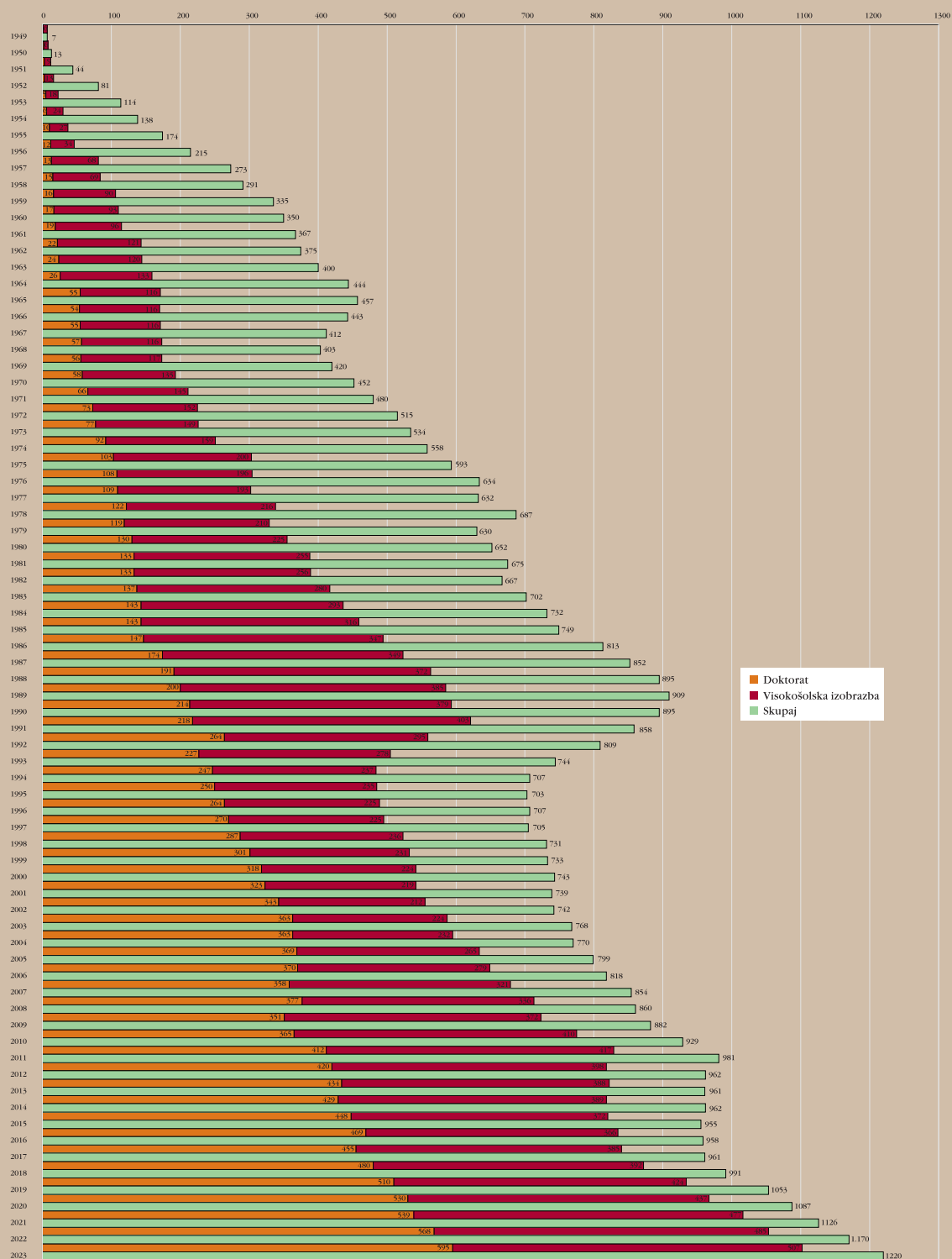
ŠTEVILO IN SESTAVA SODELAVK IN SODELAVCEV PO ENOTAH

Stanje 31. 12. 2023

Odsek	Raziskovalke in raziskovalci	Podok. sodelavke in sodelavci	Mlade raziskovalke in raziskovalci	Strokovne sodelavke in sodelavci	Skupaj raziskovalke in raziskovalci	Tehniške in admin. sodelavke in sodelavci	Skupaj
Odsek za teoretično fiziko (F-1)	37	5	19	1	62	1	63
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2)	28	5	6	6	45	6	51
Odsek za tanke plasti in površine (F-3)	3		2	1	6	5	11
Odsek za tehnologijo površin (F-4)	8	1	3	2	14	1	15
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5)	47	18	25	9	99	8	107
Laboratorij za plinsko elektroniko (F-6)	7	4	4	1	16	1	17
Odsek za kompleksne snovi (F-7)	14	9	8	3	34	3	37
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8)	14	2	8	3	27	3	30
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9)	25	4	10	2	41	4	45
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1)	9	5	9	2	25	4	29
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3)	3	5	5	1	14		14
Odsek za elektronsko keramiko (K-5)	10	6	10	3	29	2	31
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7)	18	9	14	7	48	4	52
Odsek za sintezo materialov (K-8)	5	6	7		18	2	20
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9)	10	4	8	4	26	1	27
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1)	11	8	15	5	39	3	42
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	7	2	6		15	2	17
Odsek za biotehnologijo (B-3)	7	7	6	4	24	1	25
Odsek za znanosti o okolju (O-2)	27	15	16	5	63	2	65
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1)	12	8	17	5	42	2	44
Odsek za sisteme in vodenje (E-2)	14		10	4	28	2	30
Odsek za umetno inteligenco (E-3)	9	6	7	14	36	7	43
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5)	7	3	1	1	12	1	13
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6)	16	5	9	2	32	2	34
Odsek za računalniške sisteme (E-7)	9	3	6	3	21	3	24
Odsek za tehnologije znanja (E-8)	21	4	17	2	44	1	45
Odsek za inteligentne sisteme (E-9)	6		6	7	19	7	26
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4)	11	5	4	3	23	3	26
Center za energetske učinkovitost (CEU)	7	1	1	12	21	2	23
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)	1	2	1	1	5		5
Center za mrežno infrastrukturo (CMI)		1		6	7	4	11
Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)	1			5	6	3	9
Znanstvenoinformacijski center (ZIC)				2	2	7	9
Reaktorski infrastrukturni center (RIC)	1	1			2	4	6
Mrežni infrastrukturni center reaktorja (MICR)				1	1	1	2
Center za prenos znanja na področju inform. tehnologij (CT-3)			1	6	7	6	13
Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS)				1	1	1	2
Center tovarne prihodnosti (CToP)	1			4	5	1	6
Skupne službe	4	1	1	14	20	96	116
Tehnične in podporne službe				4	4	31	35
Institut "Jožef Stefan"	410	155	262	156	983	237	1220

IZOBRAZBA SODELAVK IN SODELAVCEV IJS

1949–2023





PREJEMNICE IN PREJEMNIKI PRIZNANJ IJS

ČASTNI ČLANI

Akad. prof. dr. Robert Blinc[†], predsednik ZS od 1992 do 2007 (1933–2011)
 Prof. dr. Jean-Marie Dubois, Institut Jean Lamour, CNRS - Centre National de la
 Recherche Scientifique, Paris in Université Lorraine, Nancy, Francija
 Prof. dr. Boris Frlec, direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1975 do 1984
 Prof. dr. Robert Huber, *Nobelov nagrajenec*, Max-Planck-Institut für Biochemie,
 München, Nemčija
 Prof. dr. Milan Osredkar[†], direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1963 do 1975
 (1919–2003)
 Akad. prof. dr. Anton Peterlin[†], ustanovitelj in prvi direktor Instituta "Jožef Stefan"
 od 1949 do 1955 (1908–1993)
 Akad. prof. dr. Vito Turk, direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1996 do 2005

PRIDRUŽENE ČLANICE IN ČLANI

Prof. dr. David C. Ailion, University of Utah, Salt Lake City, Utah, ZDA
 Prof. dr. Neil Bartlett[†], University of California, Berkeley, Kalifornija, ZDA
 Prof. dr. John H. Beynon, University of Wales Swansea, Swansea, Velika Britanija
 Prof. dr. Wolfram Bode, Max-Planck-Institut für Biochemie, München, Nemčija
 Prof. dr. Oscar D. Bonner[†], University of South Carolina, Columbia,
 Južna Karolina, ZDA
 Dr. Horst Borrmann, Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe,
 Dresden, Nemčija
 Prof. dr. Henrik Buchowsky, Politehnika Warszawska, Varšava, Poljska
 Prof. dr. Rüdiger Dillmann, Karlsruhe Institute of Technology, Nemčija
 Prof. dr. Joseph W. Doane, Liquid Crystal Institute, Kent State University,
 Kent, Ohio, ZDA
 Prof. dr. Hans Fritz, Universität München, München, Nemčija
 Prof. dr. Oskar Glemser[†], Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija
 Prof. dr. Paul Hagenmüller[†], Université de Bordeaux I, Bordeaux, Francija
 Prof. dr. John Holloway, University of Leicester, Leicester, Velika Britanija
 Prof. dr. Rudolf Hoppe[†], Universität Giessen, Giessen, Nemčija
 Prof. dr. Robert J. Jaeger[†], National Institute on Disability and Rehabilitation
 Research, US Department of Education, Washington, D. C., ZDA
 Prof. dr. Nikola Kallay[†], Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaška
 Prof. dr. Nobuhiko Katunuma, Tokushima Bunri University, Tokushima, Japonska
 Prof. dr. Raymond Kind, ETH, Zürich, Švica
 Prof. dr. Jože Koller, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko
 tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Rüdiger Mews, Universität Bremen, Bremen, Nemčija
 Prof. dr. Donald Michie[†], Edinburgh University, Edinburgh, Velika Britanija
 Dr. Fani Milia, National Center for Scientific Research "Demokritos", Atene, Grčija
 Prof. dr. Tsuyoshi Nakajima, Aichi Institute of Technology, Toyota, Japonska
 Prof. dr. Vincenzo Parenti-Castelli, University of Bologna, Bologna, Italija
 Prof. dr. Herbert W. Roesky, Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija

Prof. dr. John A. Rupley, The University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
 Prof. dr. Findlay E. Russell, The University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
 Prof. dr. Hugo V. Schmidt, Montana State University, Bozeman, Montana, ZDA
 Prof. dr. Lev A. Shuvalov[†], Institute for Crystallography, Russian Academy of
 Sciences, Moskva, Rusija
 Prof. dr. Neil W. Tanner[†], University of Oxford, Oxford, Velika Britanija
 Dr. Alain Tressaud, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux, CNRS,
 Pessac, Francija
 Prof. dr. Vlado Valković, Zagreb, Hrvaška
 Prof. dr. John Waugh, M. I. T., Cambridge, Massachusetts, ZDA

ZASLUŽNI ZNANSTVENIKI

Prof. dr. France Bremšak[†]
 Prof. dr. Mihael Drofenik
 Akad. prof. dr. Peter Gosar[†]
 Prof. dr. Darko Jamnik[†]
 Prof. dr. Gorazd Kandus
 Akad. prof. dr. Gabrijel Kernel
 Prof. dr. Borut Mavko
 Prof. dr. Miodrag V. Mihailović[†]
 Akad. prof. dr. Raša Matija Pirc
 Prof. dr. Marjan Senegačnik[†]
 Akad. prof. dr. Saša Svetina
 Akad. prof. dr. Boštjan Žekš
 Prof. dr. Boris Žemva[†]

SVETOVALCI

Prof. dr. Savo Bratoš, Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
 Marko Bulc[†], univ. dipl. inž., Ljubljana, Slovenija
 Akad. prof. dr. Davorin Dolar[†], Slovenska akademija znanosti in umetnosti,
 Ljubljana, Slovenija
 Zdravko Gabrovšek, univ. dipl. inž., Krško, Slovenija
 Akad. prof. dr. Dušan Hadži[†], Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Karl A. Müller[†], *Nobelov nagrajenec*, IBM Research Laboratory, Zürich,
 Švica
 Prof. dr. Bogdan Povh, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Nemčija
 Dr. Lev Premrú[†], Lek, d. d., Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Momčilo M. Ristić[†], Akademija znanosti Srbije, Beograd, Srbija
 Mag. Milan Slokan[†], Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Petar Strohla[†], Zagreb, Hrvaška
 Dr. Novak Zuber[†], Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C., ZDA
 Prof. dr. Črt Zupancič[†], Ludwig-Maximilians-Universität München, Nemčija
 Akad. prof. dr. Andrej Župancič[†], Slovenska akademija znanosti in umetnosti,
 Ljubljana, Slovenija

MEDNARODNI ODBOR SVETOVALCEV

Prof. dr. Robert Huber, *Nobelov nagrajenec*, Max-Planck-Institut, Martiensried, Nemčija

Prof. dr. Ernst Günther Afting, GSF, Neuherberg, Nemčija

Prof. dr. Akito Arima, Riken, Tokio, Japonska

Prof. dr. John H. Beynon, University of Wales Swansea, Swansea, Velika Britanija

Prof. dr. Richard Brook, EPSRC, Swindon, Velika Britanija

Prof. dr. Julio Celis, Aarhus University, Aarhus, Danska

Prof. dr. Brian Clark, Aarhus University, Aarhus, Danska

Prof. dr. Børge Diderichsen, Novo Nordisk, Bagsvaerd, Danska

Prof. dr. Jean Etourneau, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux,
CNRS, Pessac, Francija

Prof. dr. Reinosuke Hara, Seiko Instruments, Tokio, Japonska

Prof. dr. Oleg Jardetzky, Stanford University, Stanford, Kalifornija, ZDA

Prof. dr. Sergey P. Kapitza, Russian Academy of Sciences, Moskva, Rusija

Prof. dr. Karl-Hans Laermann, Bergische Universität, Wuppertal, Nemčija

Prof. dr. Egon Matijević, Clarkson University, Potsdam, New York, ZDA

Prof. dr. Federico Mayor, Madrid, Španija

Prof. dr. Dietrich Munz, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Nemčija

Prof. dr. Günther Petzow, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, Nemčija

Prof. dr. Bernard Roth, Stanford University, Stanford, Kalifornija, ZDA

Prof. dr. John Ryan, University of Oxford, Oxford, Velika Britanija

Prof. dr. Volker Sörgel, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Nemčija

Prof. dr. H. Eugene Stanley, Boston University, Boston, Massachusetts, ZDA

Prof. dr. Thomas Walcher, Universität Mainz, Mainz, Nemčija

UMETNIŠKE RAZSTAVE V GALERIJI IJS



Franc Golob na odprtju svoje razstave

Luka Širok, 9. januar–9. februar

Drago Metljak, 13. februar–16. marec

Nande Vidmar, 20. marec–20. april

Silva Karim, 24. april–11. maj

Matjaž Stopar, 15. maj–8. junij

Karmen Bajec, 12. junij–6. julij

Andrejka Čufer, 17. julij–3. avgust

Leonida Goropevšek, 7. avgust–7. september

Franc Golob, 11. september–5. oktober

Dominik Olmiah Križan, 9. oktober–2. november

Marjan Verč, 6. november–30. november

Janez Boljka, 11. december–11. januar 2024

MEDNARODNO SODELOVANJE

Večstransko mednarodno sodelovanje	Št. projektov
OBZORJE EVROPA (OE, EDF, EIT) in OBZORJE EVROPA - EURATOM	72
OBZORJE 2020 (EUROPEAN INSTITUTE OF INNOVATION AND TECHNOLOGY, EXCELLENT SCIENCE, INDUSTRIAL LEADERSHIP, SOCIETAL CHALLENGES, SPREADING EXCELLENCE AND WIDENING PARTICIPATION, SCIENCE WITH AND FOR SOCIETY) IN OBZORJE 2020 - EURATOM	72
ESRR in ESI (RR, ADRION, NM & EGP, INTERREG, EKS, ESTS)	7
DRUGI MEDNARODNI in EU PROJEKTI (COST, IAEA, ICTP, JRC, ESA, CEF, EMPIR, ERASMUS+, LIFE+ ...)	114
MEDNARODNI TRŽNI PROJEKTI	23
DRUGI PROJEKTI (CERN, KEK, UNESCO, CEA ...)	89
SKUPAJ	377

Bilateralno sodelovanje z	Št. projektov
Avstrijo	4
Črno goro	2
Francijo	7
Hrvaško	7
Indijo	4

Bilateralno sodelovanje z	Št. projektov
Japonsko	2
Nemčijo	3
Srbijo	13
Turčijo	1
ZDA	29
SKUPAJ	72

PODPISANI DOGOVORI O SODELOVANJU

Institut "Jožef Stefan" je v letu 2023 podpisal dogovore o sodelovanju z naslednjo institucijo:

1. Institut za fiziko Beograd, Beograd, Srbija (U-1)

ERC-PROJEKTI

1. OE - DrumS; Šibko vzbujane kvantne simetrije
dr. Zala Lenarčič (F-1)
2. H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
doc. dr. Matjaž Humar (F-5)
3. H2020 - LOGOS; Logična vezja iz fotonske mehke snovi
prof. dr. Igor Muševič (F-5)
4. H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
prof. dr. Peter Križan (F-9)
5. OE - CherPET; Svetloba Čerenkova za pozitronskotomografsko slikanje celega telesa
prof. dr. Peter Križan (F-9)
6. H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
doc. dr. Matic Lozinšek (K-1)



European Research Council
Established by the European Commission

SODELOVANJE Z UNIVERZAMI

DOPOLNILNE SODELAVKE IN SODELAVCI IJS

Visokošolske učiteljice in učitelji

1. Prof. dr. Denis Arčon, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
2. Prof. dr. Iztok Arčon, Univerza v Novi Gorici
3. Doc. dr. Rok Bojanc, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
4. Prof. dr. Janez Bonča, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
5. Doc. dr. Marko Bračko, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
6. Prof. dr. Dean Cvetko, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
7. Prof. dr. Mojca Čepič, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta
8. Doc. dr. Rok Dolenec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
9. Prof. dr. Janez Dolinšek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
10. Prof. dr. Irena Drevenšek Olenik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
11. Prof. dr. Boštjan Golob, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
12. Prof. dr. Ke Guan, Beijing Jiaotong University, Peking, Kitajska
13. Prof. dr. Tomaž Gyergyek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
14. Prof. dr. Polona Jaki Mekjavič, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
15. Doc. dr. Branko Kavšek, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
16. Prof. dr. Borut Paul Kerševan, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
17. Doc. dr. Jure Kokalj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
18. Prof. dr. Samo Korpar, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
19. Prof. dr. Janko Kos, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
20. Prof. dr. Samo Kralj, Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta
21. Prof. dr. Peter Križan, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
22. Prof. dr. Zoran Levnajič, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
23. Prof. dr. Andrej Lipej, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
24. Doc. dr. Maciej Matyka, Univerza v Wrocławu, Wrocław, Poljska
25. Prof. dr. Marko Mikuž, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
26. Prof. dr. Matija Milanič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
27. Prof. dr. Igor Muševič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
28. Doc. dr. Natan Osterman, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
29. Doc. dr. Veljko Pejović, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
30. Prof. dr. Uroš Petrovič, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
31. Doc. dr. Tomaž Podobnik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
32. Doc. dr. Paula Pongrac, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
33. Prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
34. Prof. dr. Anton Ramšak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
35. Doc. dr. Tomaž Rejec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
36. Prof. dr. John Shawe-Taylor, University College London, Centre for Computational Statistics and Machine Learning, Velika Britanija
37. Doc. dr. Urban Simončič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

38. Doc. dr. Lea Spindler, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
39. Doc. dr. Andrej Studen, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
40. Prof. dr. Simon Širca, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
41. Doc. dr. Primož Škraba, Queen Mary University of London, Velika Britanija
42. Prof. dr. Borut Štrukelj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za farmacijo
43. Prof. dr. Ivan Tomašič, Univerza Mälardalen, Västerås, Švedska
44. Prof. dr. Nataša Vaupotič, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
45. Prof. dr. Katarina Vogel-Mikuš, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
46. Prof. dr. Danilo Zavrtanik, Univerza v Novi Gorici
47. Prof. dr. Primož Ziherl, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
48. Doc. dr. Dejan Žontar, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

Visokošolske sodelavke in sodelavci

1. Dr. Jurij Leskovec, Stanford University, Palo Alto, Kalifornija, ZDA
2. Dr. Jure Pražnikar, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
3. Dr. Jan Šuntajs, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
4. Dr. Lara Ulčakar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

REDNE SODELAVKE IN SODELAVCI IJS, KI SODELUJEJO Z VISOKOŠOLSKIMI USTANOVAMI

Visokošolske učiteljice in učitelji

1. Prof. dr. Jan Babič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
2. Prof. dr. Andreja Benčan Golob, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
3. Prof. dr. Aleš Berlec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
4. Doc. dr. Anton Biasizzo, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
5. Prof. dr. Vid Bobnar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
6. Prof. dr. Marko Bohanec, Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
7. Prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
8. Doc. dr. Klemen Bučar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
9. Prof. dr. Leon Cizelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
10. Prof. dr. Uroš Cvelbar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
11. Prof. dr. Miran Čeh, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
12. Prof. dr. Miha Čekada, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
13. Doc. dr. Nina Daneu, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
14. Prof. dr. Marko Debeljak, Univerza v Ljubljani; Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
15. Doc. dr. Tadej Debevec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
16. Doc. dr. Matjaž Depolli, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
17. Doc. dr. Gregor Dolanc, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
18. Doc. dr. Goran Dražić, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
19. Prof. dr. Jean – Marie Dubois, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana



20. Prof. dr. Sašo Džeroski, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
21. Prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
22. Doc. dr. Tome Eftimov, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta
23. Prof. dr. Tomaž Erjavec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
24. Prof. dr. Svjetlana Fajfer, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
25. Doc. dr. Ingrid Falnoga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Biotehniška fakulteta
26. Prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
27. Prof. dr. Andrej Filipič, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za aplikativno naravoslovje
28. Prof. dr. Bogdan Filipič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko; Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
29. Prof. dr. Marko Fonovič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
30. Doc. dr. Andrej Gams, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
31. Prof. dr. Matjaž Gams, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
32. Prof. dr. Marko Gerbec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
33. Doc. dr. Evgeny Goreschnik, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
34. Doc. dr. Anton Gradišek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
35. Doc. dr. Sašo Gyergyek, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
36. Prof. dr. Ester Heath, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za zdravstvene vede; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
37. Prof. dr. Milena Horvat, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
38. Prof. dr. Andrej Hrovat, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
39. Prof. dr. Tomaž Javornik, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
40. Prof. dr. Robert Jeraj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; University of Wisconsin, School of Medical Physics, Madison, Wisconsin, ZDA
41. Doc. dr. Ita Junkar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
42. Prof. dr. Đani Juričič, Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
43. Prof. dr. Viktor Kabanov, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
44. Doc. dr. Matjaž Kavčič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
45. Doc. dr. Ivo Kljenak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
46. Doc. dr. Tomaž Klopučar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; DOBA Fakulteta za uporabne poslovne in družbene študije, Maribor; Fakulteta za komercialne in poslovne vede, Celje
47. Prof. dr. Spomenka Kobe, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
48. Prof. dr. Juš Kocijan, Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
49. Prof. dr. Andraž Kocjan, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Medicinska fakulteta
50. Doc. dr. Robert Kocjančič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
51. Prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
52. Prof. dr. Anton Kokalj, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
53. Doc. dr. Matej Andrej Komelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
54. Doc. dr. Boštjan Končar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
55. Prof. dr. Nataša Kopitar – Jerala, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
56. Prof. dr. Dušan Kordiš, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
57. Prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
58. Doc. dr. Tina Kosjek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za zdravstvene vede; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
59. Prof. dr. Nejc Košnik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
60. Doc. dr. Igor Kovač, FH Joanneum, Gradec, Avstrija
61. Prof. dr. Janez Kovač, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
62. Doc. dr. Petra Kralj Novak, Central European University, Dunaj, Avstrija
63. Doc. dr. Slavko Kralj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
64. Prof. dr. Igor Kržaj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Biotehniška fakulteta, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
65. Doc. dr. Marjan Kromar, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
66. Prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
67. Prof. dr. Zdravko Kutnjak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Fakulteta za strojništvo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
68. Prof. dr. Nada Lavrač, Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani
69. Doc. dr. Adrijana Leonardi, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
70. Doc. dr. Luka Leskovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
71. Prof. dr. Darja Lisjak, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
72. Prof. dr. Sonja Lojen, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
73. Prof. dr. Boris Majaron, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
74. Prof. dr. Darko Makovec, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
75. Prof. dr. Barbara Malič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
76. Doc. dr. Sabina Markelj, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
77. Prof. dr. Igor Mekjavič, Univerza Simon Fraser, Britanska Kolumbija, Kanada
78. Doc. dr. Alenka Mertelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
79. Doc. dr. Tomaž Mertelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
80. Prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
81. Doc. dr. Andrej Mihelič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
82. Doc. dr. Miha Mihovilovič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Nemčija
83. Prof. dr. Radmila Milačič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
84. Prof. dr. Ingrid Milošev, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Zagrebu, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo
85. Doc. dr. Ana Mitrovič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
86. Prof. dr. Dunja Mladenec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Zagrebu; Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta; Univerza v Novi Gorici; Univerza na Primorskem
87. Prof. dr. Mihael Mohorčič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
88. Doc. dr. Helena Motaln, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
89. Prof. dr. Miran Mozetič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
90. Doc. dr. Jernej Mravlje, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
91. Doc. dr. Bojan Nemec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
92. Prof. dr. Miha Nemevšek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
93. Doc. dr. Roman Novak, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
94. Prof. dr. Saša Novak Krmpotič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
95. Prof. dr. Nives Ogrinc, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
96. Doc. dr. Mojca Otoničar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana

97. **Doc. dr. Panče Panov**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
98. **Prof. dr. Gregor Papa**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
99. **Doc. dr. Matija Perne**, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
100. **Prof. dr. Rok Pestotnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
101. **Prof. dr. Toni Petan**, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
102. **Prof. dr. Maja Ponikvar - Svet**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
103. **Prof. dr. Peter Prelovšek**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
104. **Doc. dr. Gregor Primc**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
105. **Prof. dr. Jože Pungerčar**, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
106. **Prof. dr. Matthew Purver**, Queen Mary University of London, School of Electronic Engineering & Computer Science, Velika Britanija
107. **Doc. dr. Aleksandra Rashkovska Kocova**, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
108. **Prof. dr. Aleksander Rečnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
109. **Prof. dr. Maja Remškar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
110. **Doc. dr. Peter Rodič**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
111. **Prof. dr. Boris Rogelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta, Biotehniška fakulteta
112. **Prof. dr. Tadej Rojac**, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
113. **Prof. dr. Igor Serša**, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
114. **Prof. dr. Borut Smodiš**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
115. **Prof. dr. Luka Snoj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Virginia Tech University, ZDA
116. **Prof. dr. Matjaž Spreitzer**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
117. **Prof. dr. Veronika Stoka**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
118. **Doc. dr. Luka Šantelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
119. **Prof. dr. Janez Ščančar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
120. **Doc. dr. Srečo Davor Škapin**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
121. **Prof. dr. Miha Škarabot**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
122. **Doc. dr. Zdenka Šlejko**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
123. **Prof. dr. Janez Štrancar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo; Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
124. **Prof. dr. Sašo Šturm**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
125. **Prof. dr. Aleš Švigelj**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
126. **Doc. dr. Gašper Tavčar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
127. **Prof. dr. Iztok Tiselj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
128. **Prof. dr. Andrej Trkov**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
129. **Prof. dr. Boris Turk**, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
130. **Prof. dr. Dušan Turk**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
131. **Doc. dr. Livija Tušar**, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede
132. **Doc. dr. Tea Tušar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Università degli studi di Trieste, Italija
133. **Prof. dr. Aleš Ude**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
134. **Doc. dr. Mitja Uršič**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
135. **Doc. dr. Hana Uršič Nemeš**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
136. **Prof. dr. Olga Vasiljeva**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
137. **Prof. dr. Janja Vaupotič**, Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
138. **Doc. dr. Matjaž Vencelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
139. **Prof. dr. Alenka Vesel**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
140. **Prof. dr. Lev Vidmar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
141. **Doc. dr. Mojca Vilfan**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
142. **Doc. dr. Damir Vrančič**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto; CAMPUS 02, University of Applied Sciences, Gradec, Avstrija
143. **Prof. dr. Boštjan Zalar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
144. **Doc. dr. Rok Zaplotnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
145. **Prof. dr. Marko Zavrtanik**, Univerza v Novi Gorici
146. **Prof. dr. Aleksander Zidanšek**, Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
147. **Doc. dr. Benjamin Zorko**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
148. **Doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
149. **Doc. dr. Bernard Ženko**, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
150. **Prof. dr. Eva Žerovnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
151. **Prof. dr. Rok Žitko**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
152. **Prof. dr. Matjaž Žitnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
153. **Doc. dr. Leon Žlajpah**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
154. **Doc. dr. Martin Žnidaršič**, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
155. **Prof. dr. Slobodan Žumer**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
156. **Prof. dr. Kristina Žužek Rožman**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana

Visokošolske sodelavke in sodelavci

1. **Dr. Tilen Breclj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
2. **Dr. Martin Draksler**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
3. **Dr. Samir El Shawish**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
4. **Dr. Blaž Fortuna**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
5. **Dr. Denis Golež**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
6. **Dr. Dejan Gradišar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
7. **Dr. Radojko Jačimović**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
8. **Dr. Peter Jeglič**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
9. **Dr. Petra Jenuš**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
10. **Dr. Matej Kanduč**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
11. **Dr. Martin Klanjšek**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
12. **Dr. Dragi Kocev**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
13. **Dr. Janez Kokalj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
14. **Dr. Matej Krajnc**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
15. **Dr. Igor Lengar**, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
16. **Dr. Mitja Luštrek**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
17. **Dr. Aljaž Osojnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
18. **Dr. Matej Petković**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
19. **Dr. Senja Pollak**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
20. **Dr. Andrej Prošek**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
21. **Dr. Vladimir Radulović**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
22. **Dr. Adam Rambousek**, Faculty of Informatics Masaryk University, Brno, Češka
23. **Dr. Jošt Stergar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
24. **Dr. Špela Stres**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
25. **Dr. Andrej Šali**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
26. **Dr. Jelena Vesić**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
27. **Dr. Darko Vrečko**, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
28. **Dr. Andrej Zorko**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za matematiko in fiziko
29. **Dr. Andrej Žohar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

KOLOKVIJI NA IJS

11. januar 2023: **Igor Lengar**

Institut "Jožef Stefan"

Izkoriščanje energije fuzije in nedavni uspešni eksperimenti

25. januar 2023: **Vladimir Vava Gligorov**

Univerza Sorbona, CNRS, Francija

Koherentni test leptonske univerzalnosti v prehodih med kvarki b in s

1. februar 2023: **Igor Serša**

Institut "Jožef Stefan"

Magnetnoresonančna mikroskopija

20. marec 2023: **Frédéric Mila**

Zvezna politehnična šola v Lausanni (EPFL), Švica

Kvantne spinske tekočine in njihove eksperimentalne uresničitve

21. marec 2023: **Lukáš Palatinus**

Fizikalni inštitut Češke akademije znanosti, Republika Češka

Kristalografija v 21. stoletju: doba elektrona?

22. marec 2023: **Ester Heath**

Institut "Jožef Stefan"

Onesnaževala, ki vzbujajo zaskrbljenost: potovanje od virov do okolja

23. marec 2023: **Nada Lavrač in Marko Robnik-Šikonja**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani

Strojno učenje iz relacijskih in tekstovnih podatkov

5. april 2023: **Miha Čekada**

Institut "Jožef Stefan"

Trde zaščitne prevleke: med znanostjo in industrijo

10. maj 2023: **Philippe Bouyer**

Quantum Delta NL, Univerza v Amsterdamu, Tehniška univerza Eindhoven, Nizozemska

Kvantni senzorji s snovnimi valovi

14. junij 2023: **Lev Ioffe**

Google Quantum AI, Google Research, ZDA

Kako nam trenutno lahko pomagajo zašumljeni kvantni računalniki?

21. junij 2023: **Eduard Llobet Valero**

Univerza v Tarragoni, Tarragona, Španija

Plinski senzorji, ki temeljijo na dikalkogenidnih prehodnih kovin

29. junij 2023: **Thomas G. Dietterich**

Oregon State University, ZDA

Kaj je narobe z velikimi jezikovnimi modeli in s čim bi jih morali nadomestiti

20. september 2023: **Qiwen Zhan**

Univerza za znanost in tehnologijo v Šanghaju, Kitajska

Sanje o sanjah: topologija s prostorsko-časovno oblikovano svetlobo

27. september 2023: **Igor Mandić**

Institut "Jožef Stefan"

Polprevodniški detektorji za bodoče trkalnike

18. oktober 2023: **Andrew J. Bell**

Univerza v Leedsu, Velika Britanija

Prignati do skrajnosti: zgodba o piezoelektričnih materialih in napravah za ekstremne pogoje

22. november 2023: **Boris Majaron**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Razvoj tehnik fototermalne radiometrije za uporabo v biomedicini

29. november 2023: **Svjetlana Fajfer**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Na poti od anomalij mezonov B do nove fizike

6. december 2023: **Lev Vidmar**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Fizika na robu kaosa

ŠTEVILO ŠTIPENDISTK IN ŠTIPENDISTOV

1977–2023

Leto	FMF		FKKT UNI LJ	FKKT UNI MB	NTF	FDV	FU	BF	FE in FRI	Drugo UNI LJ	FG in FERI	UNG	MPŠ	Skupaj
... 1989	242	75	144					4	181	21	4			671
1990	26	5	11					2	25		1			70
1991	23	2	9					2	24	2	1			63
1992	22	3	16					3	17	1				62
1993	21	1	15					3	13	1				54
1994	7	1	8					3	6					25
1995	2		9					3	5					19
1996	2		9					3	5					19
1997	2		12					1	4		1			20
1998	1		6					1	7		1			16
1999	2		7					4	7					20
2000	1		5					3	9					18
2001	3		13					3	10					29
2002	4		20					3	10					37
2003	3		18					2	12	1				36
2004	4		17					1	15	1	2	2		42
2005	3		12			1		2	19		2	1		40
2006	2		12			1		1	17		2	2		37
2007	3		14			1		2	18		2	1		41
2008	2	1	13	3		1		2	15		1	1		39
2009	2	1	17	4		1		5	16		1	2		49
2010	2		11	5	2	1	1	3	10		1	2	5	43
2011	2	1	11	5	4	1	1	4	7		1		6	43
2012	2		10	6	3	1		3	6				5	36
2013	3	2	3	2	1		1		2	2			6	22
2014	14	6	3		2		1		3	2			1	32
2015	21	6	4		1				9	1			10	52
2016	16	2	5						7	1			15	46
2017	11	2	4					2	7				12	38
2018	9	3	5					2	6	1	1		7	34
2019	16	1	5						7		1		12	42
2020	17	1	4						5	1			8	36
2021	19		3						5	1			6	34
2022	15	2	2						4	1			4	28
2023	10	3	2		1				3	3			2	24
SKUPAJ	534	118	459	25	14	8	4	67	516	40	22	11	99	1917

FMF
FKKT (Uni-Lj)
FKKT (Uni-Mb)
NTF
FDV
FU
BF

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Mariboru
Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za družbene vede, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za upravo, Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

FE
FRI
FG
FERI
UNG
MPŠ
Drugo (Uni-Lj)

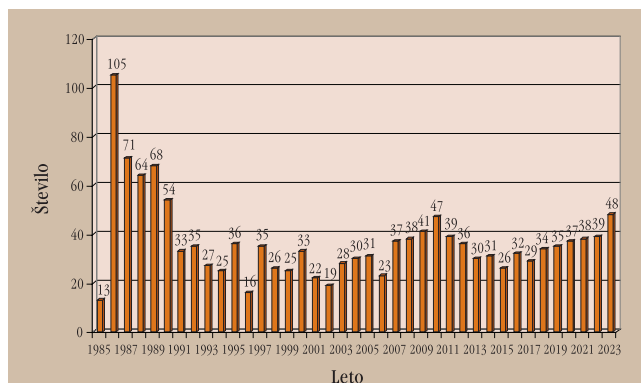
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
Univerza v Novi Gorici
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za strojništvo, Ekonomska fakulteta, Medicinska fakulteta, UL

ŠTEVILO MLADIH RAZISKOVALK IN RAZISKOVALCEV (SPREJETIH V FINANCIRANJE) 1985–2023

Odsek	Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije				Gospodarstvo	Skupaj
	Magisterij in doktorat	Doktorat	Magisterij	Specializacija	Doktorat	
Odsek za teoretično fiziko (F-1)	4	68	1	2		75
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2)	14	35	3	2	1	55
Odsek za tanke plasti in površine (F-3)	2	7	2		2	13
Odsek za tehnologijo površin (F-4)		20			2	22
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5)	22	101	5	25	3	156
Odsek za plinsko elektroniko (F-6)		2				2
Odsek za kompleksne snovi (F-7)	2	45	2	3	2	54
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8)	11	24	4	2		41
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9)	13	48			3	64
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1)	9	24	1	1	2	37
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3)	13	33	9	6		61
Odsek za elektronsko keramiko (K-5)	3	35	6	3	1	48
Odsek za inženirsko keramiko (K-6)	1	10	3	3	1	18
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7)	4	48	3	2	2	59
Odsek za sintezo materialov (K-8)	1	22	4		1	28
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9)	6	29	5	1	2	43
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1)	24	68	2	4		98
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	4	24	3	1		32
Odsek za biotehnologijo (B-3)	3	21	2	1		27
Odsek za znanosti o okolju (O-2)	34	77	5	2	4	122
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1)	14	34	18	8		74
Odsek za sisteme in vodenje (E-2)	10	36	10	4	1	61
Odsek za umetno inteligenco (E-3)		4				4
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5)	5	8	3		1	17
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6)	15	22	17	1		55
Odsek za računalniške sisteme (E-7)	14	11	6	2	4	37
Odsek za tehnologije znanja (E-8)	14	33	8			55
Odsek za inteligentne sisteme (E-9)	11	19	7	2	5	44
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4)	11	17	9	3		40
Center za energetska učinkovitost (CEU)	3	1	18	6	4	32
Center za informatiko in zunajšolsko izobraževanje (CT-1)	6		6	1		13
SKUPAJ	273	926	162	85	41	1487

ŠTEVILO MLADIH RAZISKOVALK IN RAZISKOVALCEV, SPREJETIH V FINANCIRANJE

Javna agencija za raziskovalno dejavnost
Republike Slovenije*



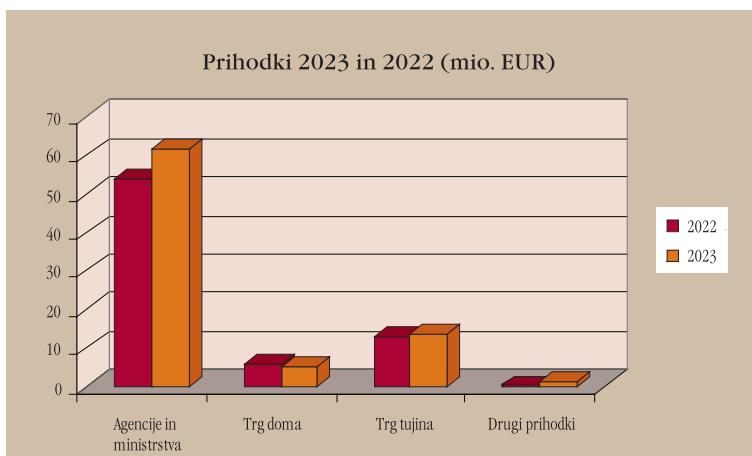
* Na grafu je skupno število mladih raziskovalk in raziskovalcev, sprejetih v financiranje od ARRS, manjše. Razlika je posledica dejstva, da je nekaj mladih raziskovalk in raziskovalcev v tem obdobju spremenilo vrsto usposabljanja.

FINANCE

PRIHODKI IJS (V EUR) IN ŠTEVILO POGODB

IJS je prihodke pridobil v tekmi z drugimi, domačimi in tujimi, raziskovalnimi organizacijami: 75,6 % na razpisih na državnih ministrstvih in agencijah, 16,8 % na mednarodnih razpisih (pretežno na okvirnih programih EU) in 6,5 % na domačem trgu.

	2023	delež 2023	2022	delež 2022	indeks 2023/2022	št. pogodb v letu 2023
Agencije in ministrstva	61.741.973	75,6 %	54.148.283	74,1 %	114	490
Trg doma	5.297.258	6,5 %	5.660.661	7,8 %	93,6	323
Trg tujina	13.709.253	16,8 %	13.070.884	17,9 %	104,9	249
Drugi prihodki	958.108	1,2 %	146.524	0,2 %	653,9	
SKUPAJ	81.706.592	100 %	73.026.352	100 %	111,9	1062



OBJAVE IN DELA

2023

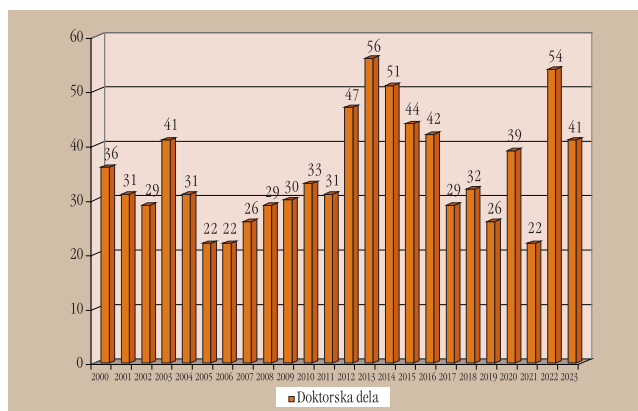
Vir podatkov COBISS

Odsek	Članki		Monografije		Patenti		Doktorati
	Znanstveni	Strokovni	Znanstvene	Strokovne	Podeljeni	Prijave	
Teoretična fizika (F-1)	63	4	1				2
Fizika nizkih in srednjih energij (F-2)	64						1
Tanke plasti in površine (F-3)	18						
Tehnologija površin (F-4)	52				1	1	2
Fizika trdne snovi (F-5)	104	3	1	1	2	2	5
Plinska elektronika (F-6)	25	1		1	1		1
Kompleksne snovi (F-7)	55	4			2		3
Reaktorska fizika (F-8)	89	5					1
Eksperimentalna fizika osnovnih delcev (F-9)	210						3
Anorganska kemija in tehnologija (K-1)	24	4			1	1	
Fizikalna in organska kemija (K-3)	20						1
Elektronska keramika (K-5)	47						1
Nanostrukturni materiali (K-7)	41	2					
Sinteza materialov (K-8)	29					1	1
Sodobni materiali (K-9)	36	2					3
Biokemija, molekularna in strukturna biologija (B-1)	19					1	3
Molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	10						1
Biotehnologija (B-3)	18	3					1
Znanosti o okolju (O-2)	85	2	1				3
Avtomatika, biokibernetika in robotika (E-1)	53	2				1	4
Sistemi in vodenje (E-2)	21	1				1	1
Umetna inteligenca (E-3)	22	3		1			
Odperti sistemi in mreže (E-5)	9	1					
Komunikacijski sistemi (E-6)	31		2			1	1
Računalniški sistemi (E-7)	20						2
Tehnologije znanja (E-8)	47	4					
Inteligentni sistemi (E-9)	20		1				
Reaktorska tehnika (R-4)	15						1
Reaktorski infrastrukturni center (RIC)	2						
Center za energetske učinkovitost (CEU)	1	1	3		1		
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)	7	1					
Center za prenos znanja na področju inf. tehn. (CT-3)	1						
Center tovarne prihodnosti (CToP)		4					
Institut "Jožef Stefan"	1055	143	8	2	6	10	41

OPRAVLJENA DOKTORSKA DELA

DO 2023

Leto	Doktorati	Leto	Doktorati
...1999	524	2012	47
2000	36	2013	56
2001	31	2014	51
2002	29	2015	44
2003	41	2016	42
2004	31	2017	29
2005	22	2018	32
2006	22	2019	26
2007	26	2020	39
2008	29	2021	22
2009	30	2022	54
2010	33	2023	41
2011	31	SKUPAJ	1368



PODELJENI PATENTI

1. Matjaž Lukač, Franci Bajd, Marko Kazič, Zdenko Vižintin, Tadej Perhavec, Apparatus and method for tissue regeneration, US 11,648,417 (B2), US Patent Office, 16. 5. 2023
2. Luiz A. DaSilva, Jernej Hribar, Method and system for energy aware scheduling for sensors, US 11,762,446 (B2), US Patent Office, 19. 9. 2023
3. Primc, Gregor, Zaplotnik, Rok, Mozetič, Miran, Filipič, Arijana, Gutiérrez-Aguirre, Ion, Dobnik, David, Dular, Matevž, Petkovšek, Martin, Method and device for disinfection of liquid, US11807555 (B2), United States Patent and Trademark Office, 7. 11. 2023
4. Dragan Mihailović, Damjan Svetin, Anže Mraz, Rok Venturini, Memory device and method for its operation, EP 3 881 365 (B1), European Patent Office, 11. 1. 2023
5. Aswathy Vasudevan, Gregor Filipič, Janez Zavašnik, Uroš Cvelbar, Method for in-situ synthesis and deposition of metal oxide nanoparticles with atmospheric pressure plasma, EP 3 960 703 (B1), European Patent Office, 7. 6. 2023
6. Adam Krzysztof Budniak, Piotr J. Leszczyński, Zoran Mazej, Wojciech Rafał Grochala, Sposób oksydacyjnego sprzęgania cząsteczek węglowodorów posiadających atomy węgla podstawione wodorem, PL 243170 (B1), Urząd patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 10. 7. 2023

NAGRADE IN PRIZNANJA

NAGRADE REPUBLIKE SLOVENIJE

Zoisovi nagradi in Zoisovo priznanje

Danilo Zavrtanik

Zoisova nagrada za življenjsko delo na področju fizike in astrofizike osnovnih delcev

Igor Križaj

Zoisova nagrada za vrhunske znanstvene dosežke na področju toksinologije

Uroš Cvelbar

Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju plazemske fizike



Prejemniki Zoisovih nagrad in priznanj: prof. dr. Igor Križaj, prof. dr. Danilo Zavrtanik in prof. dr. Uroš Cvelbar

NAGRADE IJS

Blinčeve nagrade

Svjetlana Fajfer

Blinčeva nagrada za življenjsko delo s področja fizike

Tomaž Prosen

Blinčeva nagrada za vrhunske enkratne dosežke

Lev Vidmar

Blinčeva nagrada za fizike na začetku kariere



Prejemniki zlatega znaka: dr. Neelakandan Marath Santhosh, dr. Arijana Filipić in dr. Bojan Hiti

Zlati znak Jožefa Stefana

Zlati znak Jožefa Stefana za uspešnost in odmevnost doktorskih del doma in v tujini so prejeli raziskovalci:

Neelakandan Marath Santhosh

Plazemsko omogočeno oblikovanje hibridnih ogljikovih nanostruktur za shranjevanje energije

Arijana Filipić

Inaktivacija virusov v vodi s hladno atmosfersko plazmo

Bojan Hiti

Sevalna odpornost detektorjev CMOS za nadgradnjo notranjega sledilnika detektorja ATLAS

DRUGA ODMEVNEJŠA PRIZNANJA RAZISKOVALCEM IJS

Odsek za znanosti o okolju (O-2), projekt CityS-Health, častna omemba na podelitvi nagrad Evropske unije za državljansko znanost v Linzu, Avstrija, september 2023

Adna Alilović, nagrada ERASS v kategoriji Specialty Section Award, Chemical Risk Assessment Research, na konferenci EUROTOX 2023 za svoje raziskovanje o metil živem srebru po zaužitju tune v Ljubljani, september 2023

Andrejaana Andova, Tobias Benecke, Harald Ludwig, Tea Tušar, priznanje za najboljši poster na konferenci EvoStar 2023, Brno, Češka, 12.–14. 4. 2023, prispevek Towards constructing a suite of multi-objective optimization problems with diverse landscapes

Eirini Andreasidou, zmaga na Science Slamu simpozija ISO-FOOD: Od vira hrane do zdravja v Portorožu, Slovenija, april 2023

Eirini Andreasidou, zmagovalka tekmovanja za dejavnost javnega angažmaja na poletni šoli FoodTraNet 2 v Almerii, Španija, junij 2023

Khaled Al-Athel, Abdulaziz Alyamani, Mohanad Alzahrani, Jan Kren, Blaž Mikuž, Afaq Shams, 3. nagrada za najboljši poster Experimental investigation of heating turbulent flow in a square duct using a heated foil, International Conference on Nuclear Power Engineering-SCOPE, Dhahran, Savdska Arabija

Marko Bohanec, priznanje za najboljši referat na konferenci CECIS 2023

Tina Černič, Krkina nagrada, Novo mesto, 20. 10. 2023

Mirela Dragomir, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, nagrada Edward C. Henry Award za izjemni prispevek, objavljen v reviji *Journal of the American Ceramic Society*, odbor za nagrade in štipendije pri reviji *Journal of the American Ceramic Society*

Bojan Evkoski, prispevek XAI in Computational Linguistics: Understanding Political Orientations in the Slovenian Parliament v soavtorstvu s Senjo Pollak, nagrada za najboljši študentski prispevek na konferenci LTC'23 – 10th Language & Technology Conference: Human Language Technologies as a Challenge for Computer Science and Linguistics, 21.–23. 4. 2023, Poznań, Poljska

Bogdan Filipič, Tea Tušar, Aljoša Vodopija, Jordan Cork, Peter Korošec in podjetje MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., priznanje TARAS za uspešno sodelovanje gospodarstva in raziskovalno-razvojnega okolja na področju inoviranja, razvoja in tehnologij, Industrijski forum IRT 2023, Portorož, 12.–13. 6. 2023, projekt Razvoj elektromotorja za avtomobilsko industrijo z inovativnim simulacijsko-optimizacijskim postopkom

Bogdan Filipič, nagrada za najboljši prispevek na Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij, 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.–13. 10. 2023, prispevek Randomized optimization: From algorithmic studies to industrial applications

Tanja Goričanec, nagrada za najboljše mlade avtorje, Portorož, mednarodna konferenca 32nd International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 2023, september 2023, članek z naslovom Intermediate Range Detectors for Control Rod Worth Measurements with Rod Insertion Method v soavtorstvu z Lukom Snojem in Marjanom Kromarjem

Suraj Gupta, nagrada za najboljši poster, Singapur, Singapur, podelil Elsevier na Materials Today Conference 2023, za poster z naslovom SrTiO₃ based two dimensional nanoplatelets for low-cost solar hydrogen generation

Blaž Jaklič, najboljša študentska poster predstavitev, Pariz, Francija, podelil organizacijski odbor na International Workshop on the Characterisation & Quantification of Lithium

Polona Klemenčič, Krkina nagrada za magistrsko delo z naslovom Izpostavljenost kadmiju v slovenski populaciji v Novem mestu, september 2023

Tilen Knaflič, nagrada za predstavitev posterja z naslovom: Spin-dimer ground state in the mixed-valence compound Rb₄O₆ as revealed by electron spin resonance The international workshop Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija

Boshko Koloski, Perdih Stepišnik, Timen Robnik, Marko Šikonja, Senja Pollak, Blaž Škrlić, Odlični v znanosti 2023 (področje jezikoslovje), podeljeno s strani ARIS za Knowledge graph informed fake news classification via heterogeneous representation ensembles, Neurocomputing, 2022

Mihael Boštjan Končar, Matej Tekavčič, Mitja Uršič, Prešernova nagrada za magistrsko delo Modeliranje težkih nesreč v hitrih z natrijem hlajenih jedrskih reaktorjih, Univerza v Ljubljani, Slovenija

Nina Kostevšek, nagrada za najboljšo predstavitev z naslovom: Magneto-Erythrocyte Membrane Vesicles as T₂ MRI Contrast Agents na predavanju Nanotechnology for Imaging, Sensing and Diagnostics na konferenci BioNanoMed2023 v Gradcu, Avstrija. Nagrado podeljuje NanoMedicine-Austria in BioNanoNet Forschungsgesellschaft mbH (BNN), Avstrija.

Ana Kovačič, Lidija Strojnik, Summa Cum Laude, prestižno priznanje na Mednarodni podiplomski šoli Jožef Stefan, za njuno izjemno akademsko odličnost v Ljubljani, julij 2023

Monika Kušter, nagrada za najboljšo predstavitev z naslovom: Composite material on polymer matrix reinforced with Al-based Quasycrystal powder na 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T) v Portorožu. Nagrado podeljuje Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (IMT) iz Ljubljane.

Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, tretje mesto na podelitvi nagrad rektorja Univerze v Ljubljani za najboljšo inovacijo v kategoriji Raziskovalci in prejela priznanje za njuno izjemno delo na projektu GumGuardian v Ljubljani, oktober 2023

Miha Mali, nagrada za najboljši poster z naslovom Development of the BCM system for beam abort and luminosity monitoring in ATLAS based on a segmented polycrystalline CVD diamond system and dedicated front-end ASIC, 8. 9. 2023

Helena Motaln, Boris Rogelj, Odlični v znanosti 2023, ARIS, za objavo Motaln *et al.*, *Brain*, 2023

Klemen Motaln, CCDC nagrada za najboljše predavanje, 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting – SCCM29, junij 2023, Topolšica, Slovenija

Sebastjan Nemec, Krkino priznanje s posebno pohvalo, Novo mesto, 20. 10. 2023

Alexandre Nominé, Jaean André Rist Medal, 2023

Jeglič Peter, Erik Zupanič, posebna nagrada za inovacije za gospodarstvo, 16. mednarodna konferenca o prenosu tehnologije (ITTC16), Ljubljana

Anže Pungerčič, nagrada za najboljši poster, Portorož, mednarodna konferenca 32nd International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 2023, september 2023 z naslovom Experimental and Computational Validation of Novel Depletion Algorithm in the RAPID Code System using JSI TRIGA reactor v soavtorstvu z Alireza Haghighat, Luka Snoj

Tina Radošević, nagrada za najboljšo predstavitev posterja z naslovom: Photocatalytic degradation of synthetic textile microplastic fibers with TiO₂ as photocatalysts na 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T) v Portorožu. Nagrado podeljuje Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (IMT) iz Ljubljane.



Miha Ravnik, Zlata plaketa za izjemne zasluge pri razvijanju znanstvenega, pedagoškega ali umetniškega ustvarjanja ter za krepitev ugleda Univerze v Ljubljani, Ljubljana

Barbara Repič, študentska nagrada Alessandro de Vita na čezmejni delavnici doktorskih študentov s področja nanoznanosti in nanotehnologije CrossNano 2023, organizacijski odbor CrossNano2023

Peter Rodič je bil mentor več projektnih nalog, ki so jih izvedli dijaki in so bile nagrajene na različnih tekmovanjih: Mija Kapun in Daniil Gainullov (Gimnazija Jožeta Plečnika) – 53. Krkino priznanje in srebrno priznanje na tekmovanjih ZOTKS; Ela Podboršek in Tim Strnad (Gimnazija Vič) – 53. Krkina nagrada, zlata medalja na Genius Olympics v ZDA in zlata medalja na mednarodnem projektu Olympics Vilnius International Project

Jose Martin Rožanec, Third-best paper at the 16th International technology transfer conference, 16th International Technology Transfer Conference, Fostering Research & Innovation in AI through Regulatory Sandboxes

Jerica Sabotič, nagrada za predstavitev posterja EBTNA Award for Poster Presentation, Ljubljana, European Biotechnology Congress 2023, poster z naslovom *Diabrotica v. virgifera* resists the effect of entomotoxic fungal protease inhibitors in food

Gal Sajko, Prešernova nagrada študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, Plezajoči robotski pajek

Olha Sanko, nagrada za poster predstavitev, Slovenski kemijski dnevi 2023, september 2023, Portorož, Slovenija

Vasyl Shvalya et al., Prepoznavanje bakterijske DNK z naprednim nanoplazmanskim senzorjem, Odlični v znanosti 2023, 21. 11. 2023, ARIS

Spase Stojanov, Krkino priznanje s posebno pohvalo za dodiplomske in podiplomske raziskovalne naloge za doktorsko disertacijo Engineering of fluorescent vaginal *Lactobacillus* species for their monitoring in nanofibers and cell models, Novo mesto, Krka, d. d.

Cathrine Terro, nagrada za najboljši prispevek na 15. konferenci Jožef Stefan IPSS v Kamniku, junij 2023

Iztok Tiselj, Jan Kren, Blaž Mikuž, nagrada za najboljši prispevek Experimental study of isothermal vertical slug flow, International Conference on Nuclear Power Engineering-SCOPE, Dhahran, Savdska Arabija

Žiga Tkalec in kolegi, nagrada Excellent in Science 2023 za svoj članek Suspect and non-targeted screening-based human biomonitoring identified 74 biomarkers of exposure in urine of Slovenian children, Ljubljana, november 2023

Tea Tušar, Peter Korošec, Bogdan Filipič, nagrada za najboljši prispevek na Slovenski konferenci o umetni inteligenci, 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.-13. 10. 2023, prispevek A multi-step evaluation process in electric motor design

Erik Uran, nagrada za najboljšo predavanje, 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting – SCCM29, junij 2023, Topolšica, Slovenija

Erik Uran, nagrada za poster predstavitev, Solid-State Science & Research meeting – SCIRES 2023, junij 2023, Zagreb, Hrvaška

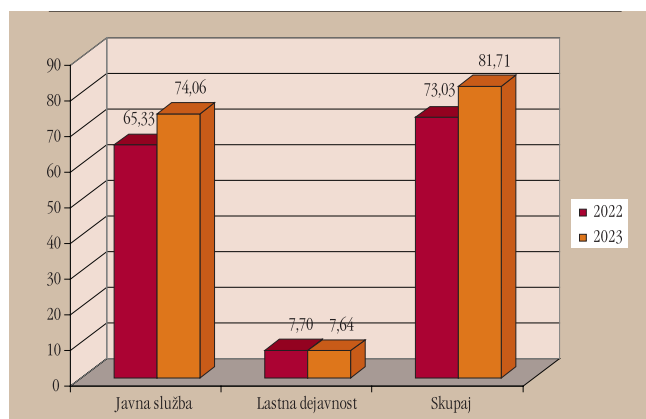
Andrej Zorko, APS Robert E., Marshakova lektorska nagrada, Ameriško fizikalno društvo, ZDA

Klara Žagar, nagrada za prispevek na konferenci ISO-FOOD za delo o sledenju $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ v vodi iz pipe, Portorož, april 2023

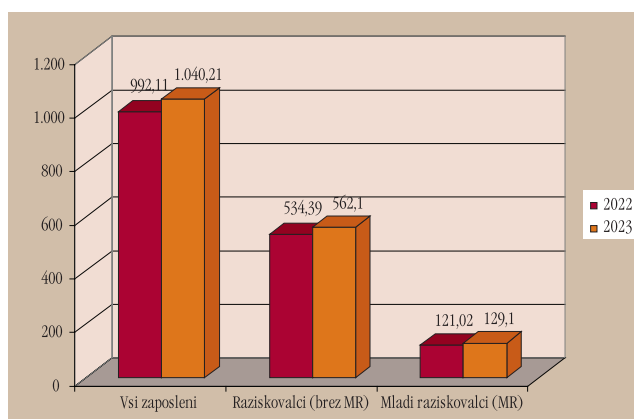
INSTITUT V ŠTEVILKAH

2022–2023

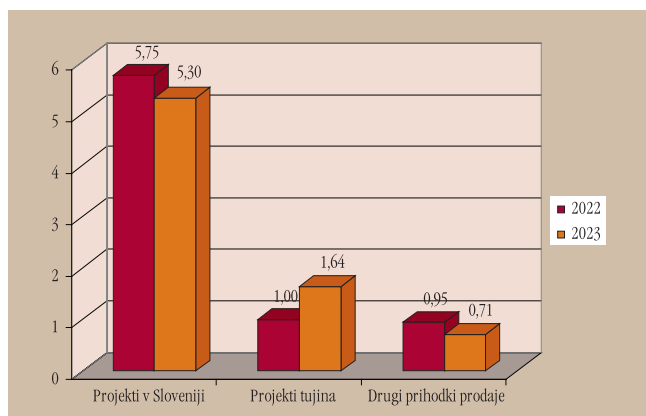
PRIMERJAVA PRIHODKOV (MIO. EUR)



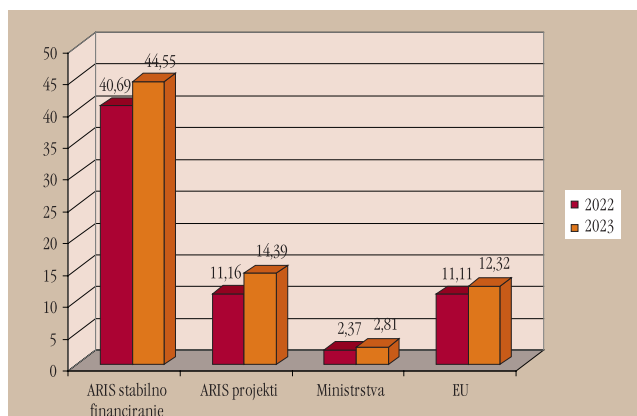
ŠTEVILO ZAPOSLENIH PO KAPACITETAH



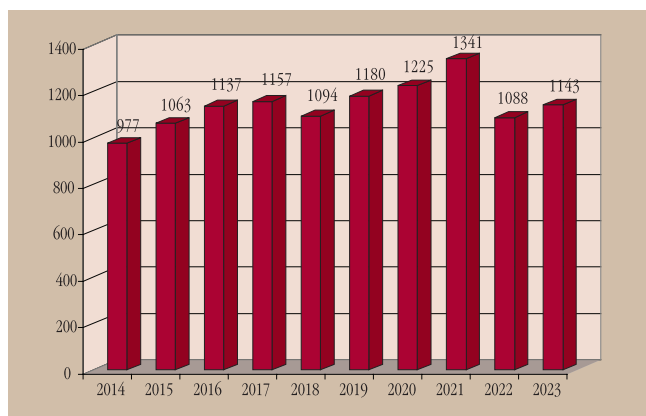
PRIHODEK IZ LASTNE DEJAVNOSTI (MIO. EUR)



PRIHODKI JAVNE SLUŽBE (MIO. EUR)

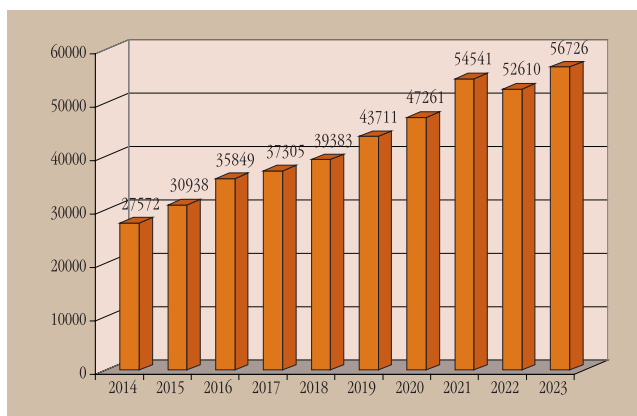


ŠTEVILO OBJAV V WEB OF SCIENCE*



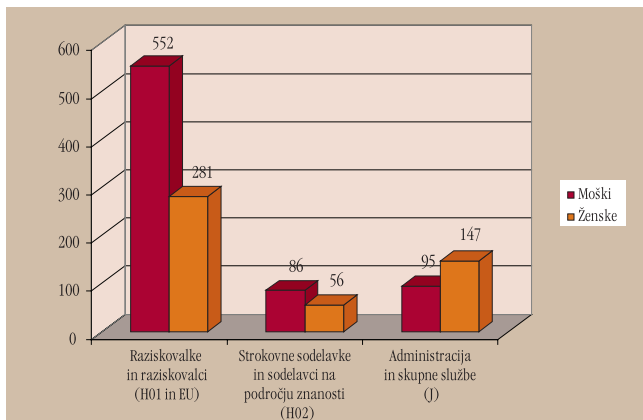
* Podatki pridobljeni 5. 11. 2025

ŠTEVILO CITATOV V WEB OF SCIENCE*



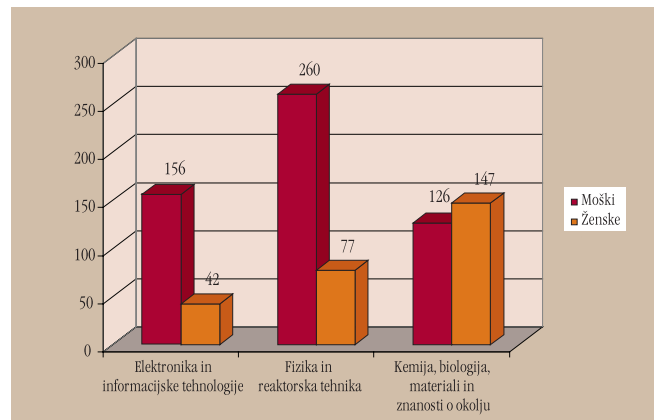
* Podatki pridobljeni 5. 11. 2025

ŠTEVILO ZAPOSLENIH PO PLAČNIH SKUPINAH IN SPOLU*



* Dne 31. 12. 2023

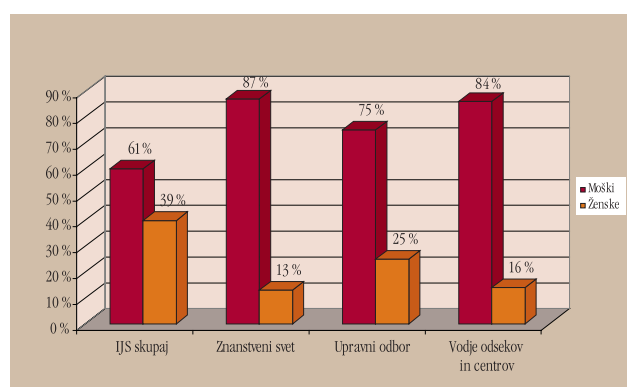
ŠTEVILO RAZISKOVALK IN RAZISKOVALCEV PO ZNANSTVENIH PODROČJIH*



* Dne 31. 12. 2023

DELEŽ ZAPOSLENIH PO SPOLU* TER DELEŽ ČLANIC IN ČLANOV ODLOČEVALSKIH IN VODSTVENIH TELES IJS PO SPOLU

	Število	Moški	Ženske
Znanstveni svet	15	87 %	13 %
Upravni odbor	8	75 %	25 %
Vodje odsekov in centrov	37	84 %	16 %
IJS SKUPAJ	1220	61 %	39 %



* Dne 31. 12. 2023

RAZISKOVALNI ODSEKI

Sodelavci programske skupine za teorijo jedra, osnovnih delcev in polj smo v letu 2023 nadaljevali raziskave v fiziki kvarkovskih in leptonskih okusov in kršitev CP, fenomenologiji delcev na visokoenergijskih trkalnikih, poenoteni teoriji umeritvenih interakcij, fiziki nevtrinov, astrofiziki delcev in kozmologiji ter raziskave v jedrski in hadronski fiziki s pomočjo metod kvantne kromodinamike na mreži in strojnega učenja v fiziki visokih energij s poudarkom na fiziki izven standardnega modela.



Vodja:

prof. dr. Jernej Fesl Kamenik

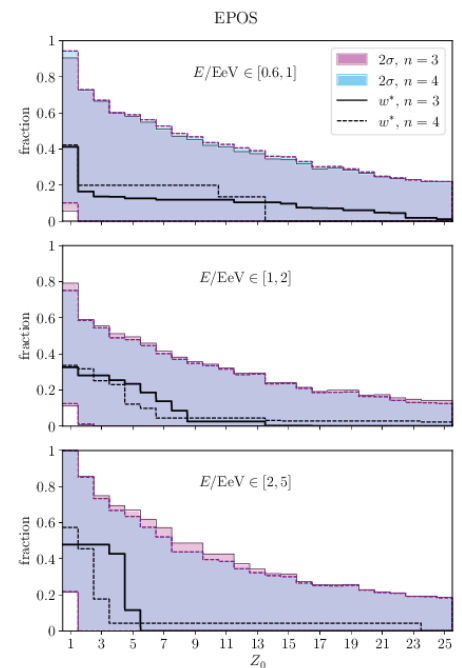
Študij tetrakvarkov z dvema težkima kvarkoma smo razširili na kanale z drugimi okusi, z uporabo dodatnih operatorjev dikvark-antikvark ter z upoštevanjem neanalitične strukture sipalne amplitude. Izračunali smo, kako se lastnosti tetrakvarka z dvema čarobnima kvarkoma spreminjajo z maso kvarkov. Za kanal čarmoniju podobnih stanj smo določili energijska območja, kjer se izračuni iz mreže skladajo z eksperimentalnimi podatki prek efektivne teorije. Proučili smo, kako ohranitev in zlom simetrije težkih kvarkov vplivata na obliko energijske odvisnosti razpadnih širin pri razpadih kvarkonija. S kvarkovskim modelom smo izračunali kromopolarizabilnost težkih barionov, od tod izluščili, kako močna je interakcija med njimi ter ali obstajajo vezana stanja dveh takih barionov. Obravnavali smo vpliv izmenjave enega piona pri tetrakvarku T_{cc} in ugotovili, da potencialno vodi do pomembnega vpliva pri interpretaciji podatkov iz kromodinamike na mreži za tetrakvark T_{cc} in za nekatera druga eksotična stanja blizu praga.

Izpeljali smo omejitve na levoročne operatorje dimenzije-6, ki prispevajo k semileptonskim in leptonskim razpadom mezonov K, D, pionov in jedrskemu beta razpadu.

Uporabili smo okusno kovarianten opis efektivnih sklopitvev, identificirali univerzalne CP faze nove fizike ter izpeljali omejitve iz razpadnih razmerij in CP-neparnih količin. Posledično smo lahko napovedali maksimalne učinke takšne okusne nove fizike v razpadih mezonov D iz strogih omejitev razpadov mezonov K in obratno. Raziskali smo učinke kršitev CP nove fizike na visokih skalah v prehodih kvarkov, ki spreminjajo okus, znotraj okvira efektivne teorije polj standardnega modela (SMEFT). Identificirali smo ustrezne operaterje dimenzije 6, proučili korelacije med različnimi procesi, ki kršijo okus, in električnimi dipolnimi momenti (EDM) ter postavili meje Wilsonovih koeficientov dipolnih operatorjev pri nizkih energijah, kar je omogočilo povezavo opazljivih učinkov CPV pri nizkih energijah s splošno NP na visokih skalah. Pokazali smo, da časovno odvisna analiza redkih razpadov mezonov B in Bs, ki jih posredujejo prehodi $b \rightarrow s$ in $u \rightarrow d$, omogoča konstrukcijo novih opazljivk z občutljivostjo na CP-lihe faze v teh procesih. Hkrati smo raziskali občutljivost na CP kršitev v časovno integriranih meritvah s prepoznavanjem okusa. Z uporabo efektivnih lagranžijanov nam je uspelo povezati razpadne širine $N \rightarrow l\gamma$ z razpadnimi širinami $N \rightarrow l\pi$. Naš rezultat kaže, da so razpadne širine $\Gamma(p \rightarrow l^+\gamma)$ in $\Gamma(n \rightarrow \nu\gamma)$ 1000-krat zastrite v primerjavi z razpadnimi širinami $\Gamma(p \rightarrow l^+\pi^0)$ oziroma $\Gamma(n \rightarrow \nu\pi^0)$. Ta rezultat je neodvisen od modela nove fizike. Proučevali smo tudi produkcijo desnosučnih bozonov WR in težkih nevtrinov N na prihodnjem visokoenergijskem hadronskem trkalniku 100 TeV v kontekstu levo-desne simetrije in ugotovili, da se s $3/\alpha_b$ integrirane svetilnosti občutljivost 3 sigma razširi do MWR = 35 in 37 TeV.

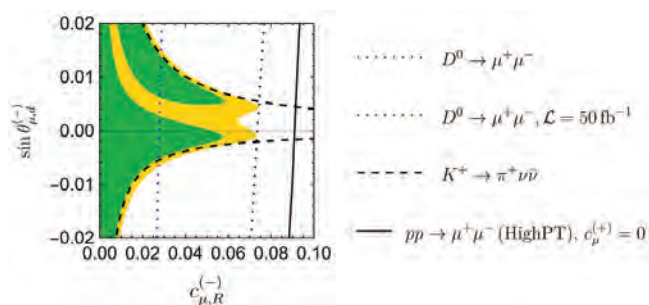
Našli smo vrednosti parametrov, za katere imajo razna vmesna stanja, kot npr. trinifikacija, najnižji potencial za Higgsov bozon dimenzije 650 v teoriji poenotenja E6. Izračunali smo prva dva popravka k razvoju propagatorja v konformni teoriji po potencah majhne temperature tako, da smo rešili Heunovo enačbo, izpeljano iz korespondence AdS/CFT.

Razširili smo uporabo metode klasifikacije brez oznak za zaznavanje anomalij z uporabo testa hipotez, zasnovanega za izključitev hipoteze o ozadju. S testiranjem statistične neodvisnosti dveh diskriminacijskih območij podatkovnih nizov nam je uspelo izključiti hipotezo o ozadju, ne da bi se zanašali na fiksne meje anomalnih rezultatov ali ekstrapolacije ocen ozadja med območji. Na podatkih odprte zbirke podatkov Pierre Auger smo uporabili novo metodo statističnega sklepanja o masni sestavi kozmičnih žarkov pri različnih energijah. Z uporabo dolžinskih elektromagnetnih profilov kozmičnih curkov v atmosferi,

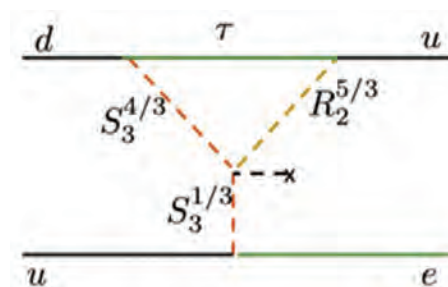


Slika 1: Delež primarnih jeder z atomskim številom $Z > Z_0$, izluščen z uporabo modela hadronskih interakcij EPOS, v treh energijskih intervalih. Trdna črna črta in vijoličasta območja kažejo rezultate ob upoštevanju $n=3$ momentov porazdelitve, medtem ko črtkana črna črta in cian območja kažejo rezultate upoštevanja $n=4$ momentov.

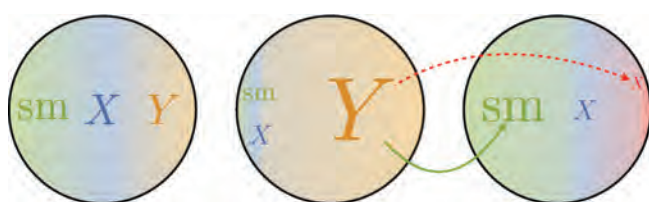
Razvili smo splošen pristop za študij eksotičnih hadronov blizu praga, ki temelji na analizi rezultatov iz trkalnikov in kromodinamike na mreži.



Slika 2: Meje na semileptonske operatorje, ki se sklapljajo z mioni. Zeleno in rumeno območje ustrežata stopnji zaupanja 68 % in 95 % za globalno prilagajanje parametrov nove fizike.



Slika 3: Anihilacijski diagram $uud \rightarrow e$ kot posledica trojne sklopitve leptokvarkov.



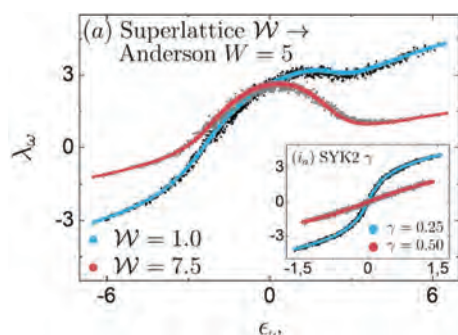
Slika 4: Ilustracija repopulacije temne snovi.

- Ukvarjali smo se z iskanjem nove fizike v semileptonskih razpadih mezonov D in K ter raziskali mehanizme razpadov nukleonov v pion in elektron oziroma foton in lepton.
- Identificirali smo univerzalno kompleksno fazo nove fizike, odgovorno za pojav kršitve CP-simetrije pri razpadu kaonov in čarobnih mezonov.
- Študirali smo fazni diagram teorije poenotenja E6 s skalarnim poljem dimenzije 650.
- Na podatkih odprte zbirke podatkov Pierre Auger smo razvili novo metodo statističnega sklepanja o masni sestavi kozmičnih žarkov pri različnih energijah.
- Ugotovili smo, da širok nabor modelov temne snovi močno omejujejo podatki iz meritev razporeditve galaksij na velikih skalah.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Jernej F. Kamenik, Manuel Szwec, Null hypothesis test for anomaly detection, *Phys. Lett. B*, 2023, 840, 137836
2. K. S. Babu, B. Bajc in V. Susič, Trinification from E_6 symmetry breaking, *JHEP*, 2023, 2023, 7, 011, doi:10.1007/JHEP07(2023)011 [arXiv:2305.16398 [hep-ph]]
3. A. Filin, V. Baru, X.-K. Dong, E. Epelbaum, F.-K. Guo, C. Hanhart, A. Nefediev, J. Nieves, Q., M.-L. Du Wang, Role of left-hand cut contributions on pole extractions from lattice data: case study for $T_{cc}(3875)^+$, *Physical Review Letters*, 2023, 131, 13, 131903
4. Nemevšek, Miha, Zhang, Yue, Dark matter dilution mechanism through the lens of large-scale structure, *Physical review letters*, 2023, 130, 12, 121002-1-121002-6, DOI: 10.1103/PhysRevLett.130.121002
5. Fajfer, Svetlana, Kamenik, Jernej, Korajac, Arman, Košnik, Nejc, Correlating New Physics effects in semileptonic $\Delta C=1$ and $\Delta S=1$ processes, *Journal of High Energy Physics*, 2023, 2023, 7, 29, DOI: 10.1007/JHEP07(2023)029

Sodelavci programske skupine za teorijo trdne snovi in statistično fiziko smo proučevali lastnosti koreliranih elektronov v ravnovesju in izven njega, neurejene večdelne sisteme, termodinamične in transportne lastnosti spinskih sistemov, nanosistemov in kvantnih pik ter kompleksne mreže in samoorganizirane strukture.



Slika 5: Konstrukcija generaliziranega Gibbsovega ansambla v kvadratnih modelih z enodelčnim kvantnim kaosom.

Nadaljevali smo z raziskavami transporta v neurejenih kvantnih sistemih in na primeru spinskih verig pokazali na povezavo med opaženim eksponentnim pojemanjem difuzijske konstante z jakostjo slučajnega polja in višanjem prehoda v stanje večdelne lokalizacije z velikostjo sistema. Sodelavec je bil tudi soavtor članka, objavljenega v prestižni reviji *Nature*, ki nakazuje na nenavaden kvantni učinek, kjer se fazni prehod med stanji kristala 1T-TaS, znatno premakne, če ga vstavimo med hlajena zrcala, kar nakazuje na močno sklopitev med fotoni in elektroni v snovi.

Proučevali smo ergodičnost močno neurejenih Andersonovih izolatorskih verig, pri čemer smo izbrali različne oblike interakcije dveh teles, pri katerih je jakost resnične motnje enakega reda velikosti kot gola interakcija dveh teles. Če se osredotočimo na režim močne interakcije, so

numerični rezultati na podlagi statistike nivojev in hipoteze o termalizaciji lastnih stanj skladni s pojavom ergodičnosti pri poljubno močni motnji.

Na področju kvantne dinamike izoliranih mnogodelčnih kvantnih sistemov smo pokazali nekatere univerzalne lastnosti dinamike v točki faznega prehoda z zlomom ergodičnosti. Za kvadratne modele smo dokazali, da je ekvibracija pričakovanih vrednosti opazljivk v mnogodelčnih stanjih posledica veljavnosti temalizacije na nivoju enodelčnih lastnih stanj. Nadaljevali smo z raziskavami modela *kvantnega sonca*, ki smo ga predlagali kot vzorčni model za analize prehodov z zlomom ergodičnosti in ki je v številnih pogledih soroden neinteragirajočemu ultrametričnemu Andersonovemu modelu. J. Šuntajs je za svoje doktorsko delo prejel **zlato znak Jožefa Stefana**.

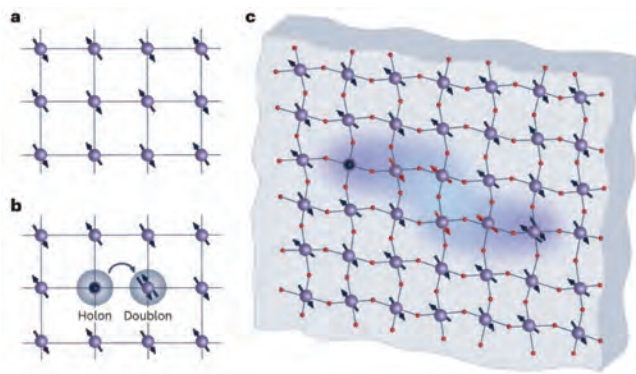
V materialih z močnimi korelacijami lahko interakcija med elektroni povzroči prehod med kovino in izolatorjem (Mottovi izolatorji). Ko takšne sisteme vzbujamo z zunanjim laserskim poljem, lahko ustvarimo nova eksotična kvantna stanja, na primer η superprevodnost in skrita večdelčna stanja itd., ali izbrskamo dodatne mikroskopske informacije o teh koreliranih sistemih. Tako smo pokazali, da lahko v Mottovih izolatorjih ustvarimo prepletenost med ekscitonskimi in spinskimi prostostnimi stopnjami, kar odpre pot k novim netermičnim stanjem.

S sodelavci iz Caltecha, Nemčija, smo v reviji *Nature Physics* 19, 1876 (2023) objavili članek, ki je eksperimentalno potrdil teoretične napovedi glede obstoja Hubbardovih eksitonov v Mottovih izolatorjih. Pokazali smo tudi, da je superdifuzija v Heisenbergovi verigi presenetljivo stabilna na simetrične perturbacije. Raziskali smo tudi povezavo med unitarnim in neunitarnim gnanjem toka.

V sklopu raziskav neravnovesne dinamike mnogodelčnih kvantnih sistemov smo razvili nov pristop z integracijo nevronske mreže v algoritme, namenjene rekonstrukciji mnogodelčnih hamiltonianov. To nam je omogočilo dragocen vpogled v mehanizme segrevanja, ki so neločljivo povezani s Floquejevimi sistemi. Nadalje smo raziskovali anomalne visokotemperaturne transportne pojave znotraj kvantnih spinskih verig. Natančneje, z uporabo naprednih numeričnih metodologij, vključno s tenzorskimi mrežami, smo naredili pomembne korake pri razjasnitvi kompleksnosti subdifuzije in superdifuzije znotraj določenih modelov spinskih verig, ki so pomembne za eksperimente na področju sintetične kvantne snovi. Proučevali smo tudi, kako lahko koncepte kvantne kompleksnosti uporabimo kot diagnostiko lastnih stanj kvantnih brazgotin, ki pustijo globok pečat na dinamiki povezanih sistemov. Nadalje smo s pomočjo perturbativne teorije proučili šibko odprte skoraj integrabilne kvantne sisteme in predlagali metodo za konstruiranje ohranjenih količin, ki v vodilnem redu razvoja učinkovito opišejo stacionarno stanje. Pokazali smo, da imajo tako konstruirane ohranjene količine kvazi lokalno naravo.

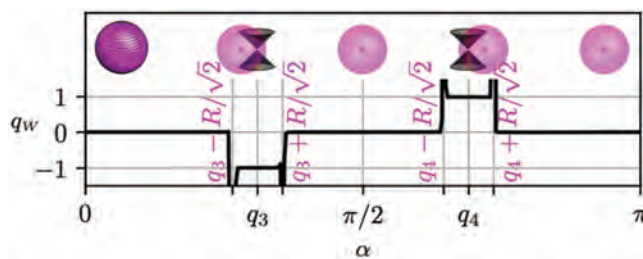
Na področju koreliranih elektronskih sistemov smo s pomočjo numeričnih simulacij na Hubbardovem modelu obravnavali sklopitve termičnih in nabojnih tokov ter njihov vpliv na difuzijo nabojnih in temperaturnih modulacij. Pokazali smo, da je vpliv termoelektričnih učinkov lahko znaten, a ne vpliva bistveno na zaključke raziskav na hladnih atomih, ter da sklopitev lahko privede do zanimivih resonančnih učinkov. Raziskali smo tudi vpliv kisikovih nečistoč na upornost in termično prevodnost železa pod pogoji, ki vladajo v Zemljini sredici.

Na področju nizko dimenzionalnih sistemov smo analizirali tvorjenje anomalnih visokih harmonikov (AHHG) v modelu, ki opisuje prehod iz Weylove polkovine (WSM) v semidiracov režim. Pokazali smo, da so odstopanja od linearne disperzije v WSM ključna za AHHG. AHHG je intenzivno predvsem v semidiracovem režimu. Poleg tega smo v študiji, ki vključuje Josephsonov stik z dvema priključkoma in Rashbovo sklopitvijo

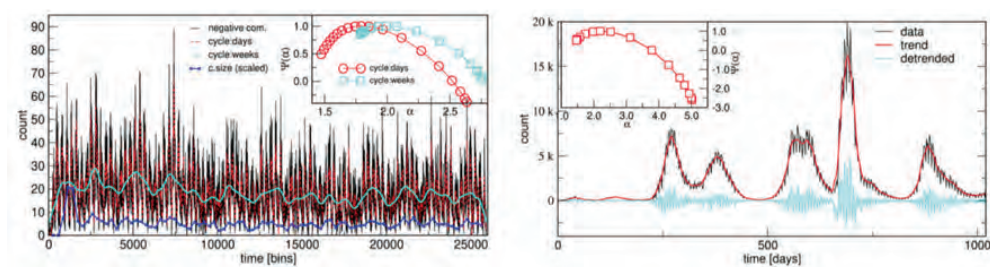


Slika 6: Ponazoritev metastabilnega vezanega stanja holonov in dublonov, raziskanih v *Nature Physics* 19, 1876 (2023), v soavtorstvu Zale Lenarčič. Vir: *Nature Phys.* 19, 1761 (2023)

- Proučevali smo ergodičnost močno neurejenih Andersonovih izolatorskih verig.
- Pokazali smo nekatere univerzalne lastnosti kvantne dinamike v točki faznega prehoda z zlomom ergodičnosti.
- Potrdili smo obstoj metastabilnih Hubbardovih eksitonov v fotodopiranih Mottovih izolatorjih.
- Kvazidelci pri visokih temperaturah postanejo v spektroskopskih meritvah neločljivi od ozadja zaradi krajšanja njihovega življenjskega časa, njihova relativna utež pa proti pričakovanjem narašča.
- Termoelektrični pojavi lahko znatno vplivajo na difuzijsko obnašanje tako naboja kot temperature.
- Superdifuzija v perturbiranih integrabilnih sistemih je močno odvisna od simetrije perturbacije.
- Predlagali smo protokol za merjenje topoloških invariant v Josephsonovem stiku z Rashbovo sklopitvijo spin-tir, ki se obnaša kot 1D kiralni topološki izolator.
- Pojav multifraktalno moduliranih ciklov je pomembna značilnost nalezljivih interakcij med ljudmi.
- Geometrijske interakcije višjega reda pri sinhronizaciji faznih oscilatorjev povzročajo histerezo obnašanje, specifično za nosilno strukturo simplicialnih kompleksov.



Slika 7: Rezultat protokola, ki povezuje tokove v dvoterminalnem Josephsonovem stiku s topološkim nabojem Weylovih točk.



Slika 8: Pojavni cikli v človeških nalezljivih interakcijah s čustvenimi vsebinami (levo) in okužbami (desno) ter njihova multifraktalna karakterizacija s spektri singularnosti (vstavki).

spin-tir, ki se obnaša kot 1D kiralni topološki izolator, predlagali protokol za določitev fizikalno merljive količine, povezane s topološkimi invariantami sistema.

V okviru raziskav kompleksnih sistemov in omrežij smo s pomočjo numeričnih simulacij in analize empiričnih podatkov raziskovali neravnovesno kritično dinamiko in nekatere pomembne značilnosti kolektivnega vedenja. Naša analiza podatkov o nalezljivih človeških interakcijah (spletne čustvene komunikacije in podatki o prenosu okužb v realnem prostoru) je razkrila nastanek robustnih cikličnih trendov z značilnimi multifraktalnimi lastnostmi. Nadaljnja analiza takšnih ciklov, dopolnjena s K-means združevanjem časovnih vrst, je omogočila prepoznavo nekaterih tipičnih vzorcev umrljivosti v globalnih podatkih nedavne pandemije. Naše simulacije sinhronizacije faznih oscilatorjev na simplicialnih kompleksih različne arhitekture in spektralne dimenzije razkrivajo, da v geometrijo vgrajene interakcije višjega reda (trikotniki) inducirajo histerezne zanke in delne sinhronizacijske vzorce, ki so tesno povezani s topologijo kompleksa.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Ulaga, M., Mravlje, J., and Kokalj, J., Thermoelectric effect on diffusion in the two-dimensional Hubbard model, *Phys. Rev. B*, 2023, **108**, 15, 155118
2. P. Lydzba, M. Mierzejewski, M. Rigol, L. Vidmar, Generalized thermalization in quantum-chaotic quadratic Hamiltonians, *Physical Review Letters*, 2023, **131**, 6, 060401
3. Šuntajs, J., Prosen, T., Vidmar, L., Localization challenges quantum chaos in finite two-dimensional Anderson model, *Phys. Rev. B*, 2023, **107**, 6, 064205
4. M. Hopjan, L. Vidmar, Scale-invariant survival probability at eigenstate transitions, *Physical Review Letters*, 2023, **131**, 6, 060404
5. Omar Mehio, Xinwei Li, Honglie Ning, Zala Lenarčič, Yuchen Han, Michael Buchhold, Zach Porter, Nicholas J Laurita, Stephen D Wilson, David Hsieh, A Hubbard exciton fluid in a photo-doped antiferromagnetic Mott insulator, *Nature Physics*, 2023, **19**, 12, 1876-1882
6. Sourav Nandy, Zala Lenarčič, Enej Ilievski, Marcin Mierzejewski, Jacek Herbrych, Peter Prelovšek, Spin diffusion in a perturbed isotropic Heisenberg spin chain, *Phys. Rev. B*, 2023, **108**, 8, L081115
7. Sarkar M., Ghosh R., Khaymovich I. M., Tuning the phase diagram of a Rosenzweig-Porter model with fractal disorder, *Phys. Rev. B (Letters)*, **108**, 6, L060203
8. Tatsuya Kaneko, Yuta Murakami, Denis Golež, Zhiyuan Sun, Andrew J. Millis, Exciton-spin interactions in antiferromagnetic charge-transfer insulators, *Phys. Rev. B*, 2023, **108**, 20, 205121
9. Tadić, Bosiljka, Mitrović Dankulov, Marija, Melnik, Roderick, Evolving cycles and self-organised criticality in social dynamics, *Chaos, solitons and fractals*, 2023, **171**, 113459-1-113459-10, DOI: 10.1016/j.chaos.2023.113459

Sodelavci programske skupine za biofiziko in mehko kondenzirano snov smo proučevali biopolimere in tekoče kristale ter lipidne membrane, vesikle, viruse in epiteljska tkiva

Posvetili smo se opisu biomolekule RNA kot naključno razvejanega polimera. Pri tem smo se ukvarjali tako z naključnimi zaporedji RNA kot z zaporedji, ki služijo kot genomi RNA virusov. Poleg tega smo analizirali tiste mutacije v skoraj 2000 različnih sevih virusa SARS-CoV-2, ki spremenijo naboj na koničnem proteinu, in pokazali, kako se je ta spreminjal med evolucijo virusa.

Identificirali smo hidrofobnostni prag za spontano samoorganizacijo lipidnih monoslojev na trdnih površinah in pokazali, da se nad kritičnim kontaktnim kotom $65 \pm 5^\circ$ lipidi spontano adsorbirajo v obliki monosloja. Ta smernica je ključna za izboljšanje biokompatibilnosti in zmanjšanje neželene adhezije. Izdelali smo teoretični okvir, ki združuje atomistične simulacije molekulske dinamike s splošnimi

Članek Vaupotič et al. je bil izbran v 2023 JCP Emerging Investigators Special Collection.

termodinamičnimi načeli, kar omogoča vpogled v obnašanje površinsko aktivnih snovi na časovnih skalah, bistveno daljših od običajnih simulacij (približno $\sim 1 \mu\text{s}$).

Analizirali smo dielektrični odziv feroelektričnih tekočih kristalov. Pri obravnavi smo opustili strogo sklopitev med nagibom in polarizacijo smektičnih plasti, kar je vodilo do štirih relaksacijskih načinov, in sicer enega Goldstonovega in treh nelinearno odvisnih od temperature. Oblikovali smo model polarnega nematika, ki je pojasnil opažen prehod med zveznim in nezveznim obnašanjem v električnem polju. Raziskovali smo tudi obnašanje teh snovi v tankih planparalelnih kondenzatorjih in fazne prehode v zunanjem električnem polju, ki so zanimivi za aplikacije, saj lahko v temperaturnem območju več 10 K induciramo močno dvolomnost v optično izotropni fazi.

Proučevali smo zgradbo in obliko tripletov lipidnih vesikov ter ugotovili, da jih je mogoče teoretično opisati z modelom dveh napetosti, ki dopušča diferencialno raztezanje nekontaktne domene in kontaktne konar ter dobro opiše tako šibko kot močno vezane agregate. Teoretično smo raziskali teorijo elastičnosti in mehanizem gubanja nepodprtih enoslojnih epitelijskih tkiv z apikobazalno polarizacijo. Pokazali smo, da je z vpeljavo t. i. fantomskega substrata ta mogoče preslikati na podprte vzdolžno stisnjene elastične plasti.

Najpomembnejši objavi v preteklem letu

1. U. Andrenšek, P. Zihlerl in M. Krajnc, Wrinkling Instability in Unsupported Epithelial Sheet, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **130**, 19, 198401
2. Szydłowska, Jadwiga, Čepič, Mojca, Vaupotič, Nataša, *et al.*, Ferroelectric nematic-isotropic liquid critical end point, *Physical review letters*, 2023, **130**, 21, 216802-1-216802-5, DOI: 10.1103/PhysRevLett.130.216802

Sodelavci programske skupine za fiziko kvantnih tehnologij smo proučevali lastnosti hibridnih polprevodniško-superprevodniških naprav ter probleme kvantnih nečistoč, zlasti tiste, ki vključujejo adsorbirane magnetne molekule in kvantne pike.

Raziskovali smo pojave v superprevodnih kvantnih napravah. Razjasnili smo obnašanje hibridnih superprevodnih-polprevodnih naprav iz nanočic v magnetnem polju, raziskali Knightov premik v Josephsonovem spoju s kvantno piko ter izmenjalno sklopitev prek superprevodnega otoka. Razvili smo teorijo za opis Andreevih spinskih kubitov. Spektralne lastnosti molekul nikelocena na površini bakra smo pojasnili kot topološke kvantne prehode med dvema različnima Fermijevima tekočinama.

ERC-projekt

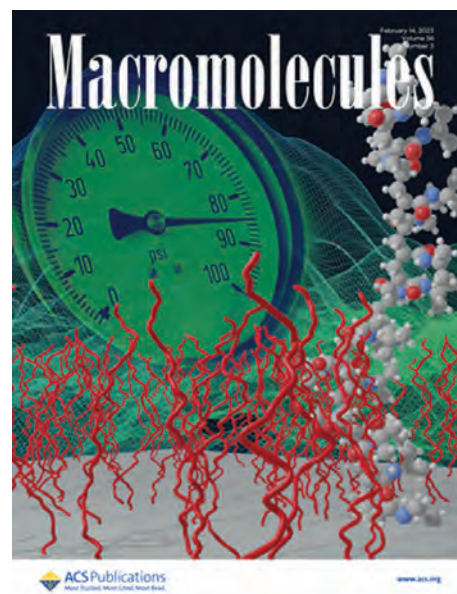
1. OE - DrumS; Šibko vzbujane kvantne simetrije
European Commission
dr. Zala Lenarčič

Najpomembnejša objava v preteklem letu

1. Marta Pita-Vidal, Arno Bargerboos, Rok Žitko, Lukas J. Splitthoff, Lukas Grünhaupt, Jaap J. Wesdorp, Yu Liu, Leo P. Kouwenhoven, Ramón Aguado, Bernard van Heck, Angela Kou, Christian Kraglund Andersen, Direct manipulation of a superconducting spin qubit strongly coupled to a transmon qubit, *Nat. Phys.*, 2023, **19**, 8, 1110-1115

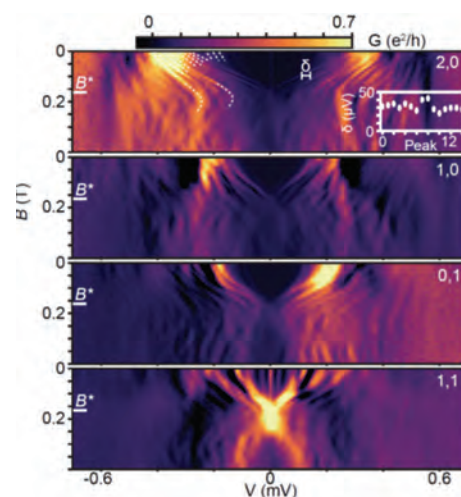
Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Mednarodna delavnica: Structure and topology of RNA in living systems, Trento, Italija, 30. 1.-2. 2. 2023
2. Mednarodna delavnica: Quantum Many-Body Systems In and Out of Equilibrium, Ljubljana, Slovenija, 13. 2.-16. 2. 2023
3. Mednarodna konferenca: Ljubljana-Trieste-Zagreb Nonequilibrium meeting, Ljubljana, Slovenija, 14. 3. 2023



Slika 9: Naša slika na naslovnici revije ACS Macromolecules: Naša študija je razkrila, da je mogoče konformacijske spremembe neionskih polimernih ščetk in raztopin pod tlakom in temperaturo univerzalno napovedati s termodinamičnimi principi, kar pomaga pri oblikovanju materialov, občutljivih na tlak.

Razložili smo pojave v naprednih Josephsonovih spojih za superprevodne kvantne naprave novih generacij.



Slika 10: Diskretna stanja v superprevodniški energijski reži hibridne kvantne naprave.

4. Mednarodna delavnica: Workshop of solid state physics, Medana, Slovenija, 12. 4.–14. 4. 2023
5. Mednarodna delavnica: Particle Physics from Early Universe to Future Colliders, Portorož, Slovenija, 11. 4.–14. 4. 2023
6. Mednarodni simpozij: MBL symposium, Ljubljana, Slovenija, 7. 6.–9. 6. 2023
7. Mednarodna konferenca: OpenQMBP2023: New perspectives in the out-of-equilibrium dynamics of open many/body quantum systems, Pariz, Francija, 12. 6.–30. 6. 2023
8. Mednarodni znanstveni simpozij: Coarse-graining the finer structure of macromolecular interactions, Ljubljana, Slovenija, 27. 8.–30. 8. 2023
9. Šola: School on Quantum Many-Body Phenomena out of Equilibrium: from Chaos to Criticality, Trst, Italija, 21. 8.–1. 9. 2023
10. Poletna šola: Ljubljana Summer School on Particle Physics and Cosmology, Ljubljana, Slovenija, 28. 8.–2. 9. 2023
11. Delavnica o naključnih številih, Ljubljana, Slovenija, 12. 9. 2023
12. Mednarodna delavnica: Brda 2023 – Illusive physics beyond the standard model, Medana, Slovenija, 11. 10.–13. 10. 2023
13. Mednarodna konferenca: Nonequilibrium Quantum workshop, Krvavec, Slovenija, 10. 12.–14. 12. 2023

Nagrade in priznanja

1. prof. dr. Svjetlana Fajfer: Blinčeve nagrade, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Institut "Jožef Stefan", Blinčeva nagrada za življenjsko delo
2. prof. dr. Lev Vidmar: Blinčeve nagrade, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Institut "Jožef Stefan", Blinčeva nagrada za fizike na začetku kariere

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC OE - DrumS; Šibko vzbujane kvantne simetrije
European Commission
dr. Zala Lenarčič
2. Določitev izvora okusa v preciznih eksperimentih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Nejc Košnik
3. Strojno učenje v fiziki visokih energij
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
4. Raziskave meja mnogodelčnega kvantnega kaosa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Lev Vidmar
5. OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
European Commission
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
6. DIGITAL EU; SiQUID - Vzpostavitev slovenske infrastrukture za kvantne komunikacije
European Commission
prof. dr. Rok Žitko
7. COST CA22130; COMETA - Celoviti podvig za več-bozonske eksperimente in teorijo
COST Association AISBL
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
8. COST CA21106; CosmicWISPers - KOZMIČNI ŠEPET v temnem vesolju: teorija, astrofizika in eksperimenti
COST Association AISBL
prof. dr. Miha Nemevšek

2. Modeliranje neravnovesnih kvantnih materialov na različnih skalah
dr. Denis Golež
3. Tri izboljšave na poti do realističnega opisa transporta močno koreliranih elektronov
doc. dr. Jernej Mravlje
4. Vloga simetriji pri vzbujanju kvantnih sistemov
dr. Zala Lenarčič
5. Kvantno procesiranje fullerenskih kubitov z diamantnimi senzorji
prof. dr. Rok Žitko
6. Coulombska stanja v energijski reži superprevodnih kvantnih naprav
prof. dr. Rok Žitko
7. Nelinearna mehanika bioloških tkiv in njihovih tumorjev
dr. Matej Krajnc
8. Precizne študije okusov s pomočjo strojnega učenja
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
9. Elektrošibki prehodi med težkimi mezoni in lahkimi hadronskimi resonancami v kromodinamiki na mreži
doc. dr. Luka Leskovec
10. FLAMENCO: Okus, leptonsko število in raziskovanje mas nevtrinov na CMS
prof. dr. Miha Nemevšek
11. Stabilnost bioloških tekočin pod natezno obremenitvijo
dr. Matej Kanduč
12. Izvor nevtrinskih mas: od trkalnikov do gravitacijskih valov
prof. dr. Miha Nemevšek
13. Neergodična dinamika v sistemih brez nereda
prof. dr. Lev Vidmar
14. Eta-parjenje kot lepilo
dr. Zala Lenarčič
15. Obarvani skalari v fiziki onkraj standardnega modela
prof. dr. Svjetlana Fajfer
16. Fazni prehodi z zlomom ergodičnosti
prof. dr. Lev Vidmar
17. Anizotropen kvantni magnetizem novih materialov z redkimi zemljami
prof. dr. Peter Prelovšek
18. Kriptografsko varen generator naključnih števil
prof. dr. Rok Žitko
19. T-NISQ - Tenzorske mreže za simulacijo kvantne snovi
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
dr. Zala Lenarčič
20. Sofinanciranje projekta OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
21. Pogodba o sofinanciranju projekta SiQUID
Urad Republike Slovenije za informacijsko varnost
prof. dr. Rok Žitko

PROGRAMI

1. Teorija trdnih snovi in statistična fizika
prof. dr. Janez Bonča
2. Teorija jedra, osnovnih delcev in polj
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
3. Biofizika polimerov, membran, gelov, kolloidov in celic
prof. dr. Primož Ziherl
4. Fizika kvantnih tehnologij
prof. dr. Rok Žitko

PROJEKTI

1. Vpliv aditivov na nanoskopsko močenje
dr. Matej Kanduč

22. QuSiED Kvantna simulacija s strukturirano disciplino
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
dr. Zala Lenarčič
23. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
prof. dr. Rok Žitko

24. Fizika kvantnih tehnologij
prof. dr. Rok Žitko
25. Multi-scale modelling of nonequilibrium quantum materials
dr. Denis Golež

OBISKI

1. Alexander Osterkorn, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 9.–13. 1. 2023
2. dr. Vladimir Gligorov, Centre national de la recherche scientifique, CNRS, Pariz, Francija, 24. 1.–26. 1. 2023
3. dr. Marcus Aichhorn, Tehnična univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija, 26. 1.–28. 1. 2023
4. prof. dr. Sadamichi Maekawa, Nacionalni raziskovalni in razvojni inštitut, RIKEN, Wako, Japonska, 13. 2.–16. 2. 2023
5. dr. Michele Coppola, Univerza Lorraine, Laboratoire de Physique et Chimie Théoriques, LPCT, Nancy, Francija, 23. 2.–25. 2. 2023
6. Marc Domingo Cabasés, Inštitut za znanosti o materialih v Barceloni, Barcelona, Španija, 28. 2.–31. 5. 2023
7. prof. dr. Michael Schmidt, Tehnološki inštitut Karlsruhe, Karlsruhe, Nemčija, 8. 3.–9. 3. 2023
8. dr. Andras Jozsef Grabarits, Inštitut za fiziko v Budimpešti, Budimpešta, Madžarska, 20. 3.–22. 3. 2023
9. dr. Zhao Zhang, Mednarodna šola za napredne študije, SISSA, Trst, Italija, 21. 3. 2023
10. Patrick Bolton, Mednarodna šola za napredne študije SISSA, Trst, Italija, 21. 3. 2023–24. 3. 2023
11. prof. dr. Damir Bečirević, Institut Joliot Curie, Pariz, Francija, 27. 3.–10. 4. 2023
12. prof. dr. Benjamin Fuks, Laboratorij za teoretično fiziko in fiziko visokih energij (LPTHE), Pariz, Francija, 29. 3.–31. 3. 2023
13. dr. Florian Goertz, Max-Planck Institut, Heidelberg, Nemčija, 3. 4.–7. 4. 2023
14. dr. Yutaro Shoji, Racah inštitut za fiziko, Hebrejska univerza v Jeruzalemu, Jeruzalem, Izrael, 10. 4.–22. 4. 2023
15. dr. Alexander Osterkorn, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 11. 4.–12. 4. 2023 in 14. 4.–15. 04. 2023
16. dr. Leonid Poyurovskiy, Politehnična šola, Palaiseau, Francija, 18. 4.–22. 4. 2023
17. dr. Marcus Aichhorn, Tehnična univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija, 20. 4.–21. 4. 2023
18. dr. Paolo Benincasa, Max-Planck Institut, München, Nemčija, 25. 4.–27. 4. 2023
19. dr. Alexander Osterkorn, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 1. 5.–26. 5. 2023
20. dr. Ben Stefanek, Univerza v Zürichu, Zürich, Nemčija, 1. 5.–5. 5. 2023
21. Ivan Khaymovich, Univerza v Stockholmu, Stockholm, Švedska, 3. 5.–4. 5. 2023
22. prof. dr. Mona Berciu, Univerza v Britanski Kolumbiji, Vancouver, Kanada, 17. 5.–21. 5. 2023
23. dr. David Horvath, Mednarodna šola za napredne študije (SISSA), Trst, Italija, 22. 5.–24. 5. 2023
24. dr. Horacio Vargas Guzman, Avtonomna univerza v Madridu, Madrid, Španija, 22. 5.–29. 5. 2023
25. Fabian Heidrich-Meisner, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 23. 5.–26. 5. 2023
26. Fran Ivan Vrban, Univerza na Reki, Reka, Hrvaška, 25. 5. 2023
27. Simon Jiricek, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 5. 6.–26. 6. 2023
28. Kohei Ogane, Tohoku Univerza, Sendai, Japonska, 7. 6.–25. 8. 2023
29. Purushottam Sahu, Indijski inštitut za tehnologijo Bihari, Chhattisgarh, Indija, 7. 6.–8. 6. 2023
30. dr. Santiago Tanco, Nacionalna univerza La Plata, La Plata, Argentina, 12. 6.–18. 6. 2023
31. dr. Stephanie Matern, Center za nanoznanost, Univerza v Lundu, Lund, Švedska, 21. 6.–23. 6. 2023
32. dr. Katarina Karlova, Univerza Pavol Jozef Safarik, Košice, Slovaška, 21. 6.–24. 6. 2023
33. dr. Jozef Strečka, Univerza Pavol Jozef Safarik, Košice, Slovaška, 21. 6.–24. 6. 2023
34. Mateusz Lisiecki, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska, 10. 7.–10. 8. 2023
35. dr. Maksimilian Šroda, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska, 10. 7.–21. 7. 2023
36. dr. Arghyadip Mukherjee, Ecole Normale Supérieure, Pariz, Francija, 10. 7. 2023
37. Emanuel Schneck, Inštitut za fiziko kondenzirane snovi, Tehnična univerza Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 17. 7.–21. 7. 2023
38. Patrycja Lydzba, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska, 24. 7.–29. 7. 2023
39. Xiansong Xu, Singapurska univerza za tehnologijo in dizajn, Singapur, Singapur, 24. 7.–25. 7. 2023
40. dr. Martin Novoa Brunet, Univerza v Bariju, Bari, Italija, 25. 7.–4. 8. 2023
41. prof. dr. Ilja Doršner, Univerza v Splitu, Split, Hrvaška, 29. 7.–4. 8. 2023
42. Ahmed Youssef, Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, Ohio, ZDA, 2. 8.–7. 8. 2023
43. prof. dr. Jure Zupan, Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, Ohio, ZDA, 7. 8.–11. 8. 2023
44. Thomas Blommel, Oddelek za fiziko, Univerza v Michiganu, Michigan, ZDA, 12. 8.–17. 8. 2023
45. dr. Horacio Vargas Guzman, Avtonomna univerza v Madridu, Madrid, Španija, 27. 8.–1. 9. 2023
46. Luca Tubiana, Univerza v Trentu, Trento, Italija, 28. 8.–31. 8. 2023
47. Antonio Torres Manso, Univerza v Granadi, Granada, Španija, 1. 9.–1. 12. 2023
48. dr. Christian Johansen, Max Planck Institut za fiziko kompleksnih sistemov, Dresden, Nemčija, 12. 9.–16. 9. 2023
49. dr. Shoji Yutaro, Racah inštitut za fiziko, Hebrejska univerza v Jeruzalemu, Jeruzalem, Izrael, 13. 9.–13. 11. 2023
50. dr. Olcyr Sumensari, Institut Joliot Curie, Orsay, Francija, 25. 9.–29. 9. 2023
51. dr. Giacomo Mazza, Univerza v Pisi, Pisa, Italija, 23. 10.–25. 10. 2023
52. dr. Peter Zalom, Inštitut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 12. 11.–1. 12. 2023
53. dr. Renwick James Hudspeth, Helmholtz center za Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, Nemčija, 14. 11.–15. 11. 2023
54. Paulo Ferraz, Univerza v Granadi, Granada, Španija, 17. 11.–24. 11. 2023
55. dr. Claudia Cornella, Mainz inštitut za teoretično fiziko, Mainz, Nemčija, 20. 11.–22. 11. 2023
56. dr. Michele Coppola, Univerza Lorraine, Laboratoire de Physique et Chimie Théoriques, LPCT, Nancy, Francija, 1. 12.–31. 12. 2023
57. dr. Dmitry Kiselyov, Weizmann Institut za znanost, Rehovot, Izrael, 4. 12.–8. 12. 2023
58. dr. Florentin Jaffredo, Nacionalni inštitut za jedrsko fiziko, INFN, Pisa, Italija, 11. 12.–13. 12. 2023
59. Lukas Allwicher, Univerza v Zürichu, Zürich, Švica, 13. 12.–16. 12. 2023
60. dr. Shaikh Ahmed Saad, Univerza v Baslu, Basel, Švica, 18. 12.–21. 12. 2023
61. prof. dr. Jure Zupan, Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, Ohio, ZDA, 20. 12.–22. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Alexander Osterkorn, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija: Semiclassical Approach to Photoexcited Correlated Quantum Matter, 10. 1. 2023
2. Domen Vauptič: Elastic properties and shape of the Piezo dome underlying its mechanosensory function, 5. 1. 2023
3. Jan Rozman: Shape-tension coupling produces nematic order in an epithelium vertex model, 10. 1. 2023
4. Urška Andrenšek: Muscular hydraulics drive larva-polyp morphogenesis, 12. 1. 2023
5. Maciej Kierka: Conformal model for gravitational waves and dark matter. A status update, 12. 1. 2023
6. Marko Gosak: Quantifying Calcium Activity Patterns in Normal and Diabetic Pancreatic Islets of Langerhans with Network Analyses, 19. 1. 2023
7. doc. dr. Luka Leskovec: A lattice QCD study of $B \rightarrow \pi \pi 1 \nu$, 19. 1. 2023
8. dr. Vladimir Gligorov, CNRS, Pariz, Francija: A coherent test of lepton universality in $b \rightarrow s \ell \ell$ transitions, 25. 1. 2023
9. dr. Marcus Aichhorn, Tehnična univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija: Non-local self energies in pyrochlore iridates from *ab-initio* TRILEX calculations, and their relevance for the Weyl semimetal phase, 27. 1. 2023
10. dr. Tanmoy Sarkar: brez naslova, 26. 1. 2023
11. dr. Fabio Staniscia: Heat release effect in domain relaxation of long-range interacting systems, 2. 2. 2023
12. prof. dr. Sadamichi Maekawa, Nacionalni raziskovalni in razvojni inštitut, RIKEN, Wako, Japonska: brez naslova, 15. 2. 2023
13. Robert Harlander: The perturbative gradient flow and its applications, 16. 2. 2023
14. dr. Denis Kutnjak: Environmental virology and virus ecology: from plant virus diversity to monitoring SARS-CoV-2 in wastewater, 16. 2. 2023
15. prof. dr. Ilja Doršner: Fully Testable Axion Dark Matter within a Minimal SU(5) Unification Model, 23. 2. 2023
16. Marin Šako: Bicelle-to-Vesicle Transition, 23. 2. 2023
17. Marc Domingo Cabasés, Inštitut za znanosti o materialih v Barceloni, Barcelona, Španija: Interaction of SARS-CoV-2 with surfaces and surfactants: Molecular dynamics simulations, 2. 3. 2023
18. Sašo Grozdanov: How much information is required to reconstruct a QFT spectrum, 2. 3. 2023
19. Horacio Vargas Guzman: Adsorption patterns of the WT, delta and omicron RBDs onto polarized model surfaces, 7. 3. 2023
20. prof. dr. Michael Schmidt, Tehnološki inštitut Karlsruhe, Karlsruhe, Nemčija: Sterile neutrino dark matter from scalar decay, 9. 3. 2023
21. dr. Anže Božič: Evolutionary changes in the number of dissociable amino acids on spike proteins and nucleoproteins of SARS-CoV-2 variants, 16. 3. 2023
22. dr. Andras Jozsef Grabarits, Inštitut za fiziko v Budimpešti, Budimpešta, Madžarska: Quantum Work Statistics, Universality, and Adiabatic Quantum Evolution in Chaotic Fermi Systems, 21. 3. 2023
23. dr. Zhao Zhang, Mednarodna šola za napredne študije, SISSA, Trst, Italija: From three body to many body: the ergodic, the fragmented and the partially integrable, 21. 3. 2023
24. Patrick Bolton, Mednarodna šola za napredne študije, SISSA, Trst, Italija: Probing the Nature of Heavy Neutral Leptons in Direct Searches and Neutrinoless Double Beta Decay, 23. 3. 2023

25. prof. dr. Benjamin Fuks, Laboratorij za teoretično fiziko in fiziko visokih energij (LPTHE), Pariz, Francija: Composite dark matter: simplified models, non-minimality and overlooked channels, 30. 3. 2023
26. Uroš Tkalec, From microcargo transport at liquid crystal/water interfaces to volumetric microscopy of anisotropic fluids, 30. 3. 2023
27. dr. Florian Goertz, Max-Planck Institut, Heidelberg, Nemčija: The Hierarchy Problem and the Top Yukawa, 6. 4. 2023
28. Bruno Pavlič: Quantum logic circuits, 6. 4. 2023
29. dr. Matej Kanduč: The mystery of nanobubbles: How come they exist?, 13. 4. 2023
30. dr. Yutaro Shoji, Racah inštitut za fiziko, Hebrejska univerza v Jeruzalemu, Jeruzalem, Izrael: Feynman diagrammatic approach for the functional determinants, 20. 4. 2023
31. Domen Vaupotič: Analiza razvejenosti genomov virusov RNA, 20. 4. 2023
32. dr. Leonid Poyurovskiy, Politehnična šola, Palaiseau, Francija: First-principles calculations of multipolar interactions, 19. 4. 2023
33. dr. Paolo Benincasa, Max-Planck Institut, Munchen, Nemčija: Cosmological observables and their analytic structure, 25. 4. 2023
34. dr. Ben Stefanek, Univerza v Zürichu, Zürich, Nemčija: The flavor puzzle as a hint for new physics in the third family, 4. 5. 2023
35. Ivan Khaymovich, Univerza v Stockholmu, Stockholm, Švedska: Non-ergodic delocalized phase with Poisson level statistics, 3. 5. 2023
36. dr. Matej Krajnc: Local real estate management in honeycombs, 11. 5. 2023
37. prof. dr. Mona Berciu, Univerza v Britanski Kolumbiji, Vancouver, Kanada: Polarons: new results in an old problem, 18. 5. 2023
38. dr. Jonathan Kriewald: Heavy Neutrino effects on leptonic Higgs, $W^\pm$ and $Z^\pm$ decays in the inverse seesaw, 18. 5. 2023
39. Urška Andrenšek: On the importance of thickness modulation in epithelial tissues, 18. 5. 2023
40. dr. David Horvath, Mednarodna šola za napredne študije (SISSA), Trst, Italija: brez naslova, 23. 5. 2023
41. dr. Horacio Vargas Guzman, Avtonomna univerza v Madridu, Madrid, Španija: RNA fragment adsorption onto membranous surfaces of Lipid Nanoparticles, 24. 5. 2023
42. dr. Pietro Baratella: Thermodynamics from scattering data, 25. 5. 2023
43. Fabian Heidrich-Meisner, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija: Phonon-induced breakdown of Thouless pumping in Rice-Mele-Holstein model, 24. 5. 2023
44. Fran Ivan Vrbanc, Univerza na Reki, Reka, Hrvaška: Photon-photon scattering under Lorentz invariance violation, 25. 5. 2023
45. dr. Tanmoy Sarkar: Graph vertex model, 6. 6. 2023
46. Simon Jiricek, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija: Dynamics at the localization transition, 6. 6. 2023
47. Kohei Ogane, Tohoku Univerza, Sendai, Japonska: Quantum dynamics in a Rydberg quantum simulator, 8. 6. 2023
48. Purushottam Sahu, Indijski inštitut za tehnologijo Birla, Chhattisgarh, Indija: Neutrinoless double beta decay in a left-right symmetric model with a double seesaw mechanism, 8. 6. 2023
49. dr. Santiago Tanco, Nacionalna univerza La Plata, La Plata, Argentina: Exploring unsupervised top tagging using Bayesian inference, 15. 6. 2023
50. Veronika Bukina: Mexican jumping beans exhibit diffusive motion, 15. 6. 2023
51. dr. Stephanie Matern, Center za nanoznanost, Univerza v Lundu, Lund, Švedska: Interacting parallel quantum dots: Metastability and quantum sensing, 22. 6. 2023
52. Marin Šako: Tensile strength of water with organic impurities, 22. 6. 2023
53. dr. Katarina Karlova, Univerza Pavol Jozef Safarik, Košice, Slovaška: Frustrated magnetism of a quantum mixed spin-(1,1/2) Heisenberg octahedral chain from a statistical-mechanical monomer-dimer model, 22. 6. 2023
54. dr. Jozef Strečka, Univerza Pavol Jozef Safarik, Košice, Slovaška: Phase transitions of spin-1/2 Ising-Heisenberg and Heisenberg models on a diamond decorated square lattice in a magnetic field, 23. 6. 2023
55. dr. Fabio Staniscia: Tolman length and anomalous adsorption at curved interfaces, 29. 6. 2023
56. Mateusz Lisiecki, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska: Eigenstate transitions in quadratic Hamiltonians, 12. 8. 2023
57. dr. Maksimilian Šroda, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska: Haldane phase driven by electron-electron correlations, 14. 7. 2023
58. dr. Arghyadip Mukherjee, Ecole Normale Supérieure, Pariz, Francija: Topological interactions drive spindle orientation and the fate decision in the Drosophila embryo, 10. 7. 2023
59. Emanuel Schneck, Inštitut za fiziko kondenzirane snovi, Tehnična univerza Darmstadt, Darmstadt, Nemčija: Investigating Biomembrane Models at Fluid Interfaces—from Bacteria Surfaces to Glycolipid Domains to RNA delivery, 20. 7. 2023
60. Patrycja Lydzba, Univerza za znanost in tehnologijo v Wroclawu, Wroclaw, Poljska: Single-quasiparticle eigenstate thermalization, 25. 7. 2023
61. Xiansong Xu, Singapurška univerza za tehnologijo in dizajn, Singapur, Singapur: Typicality and Strong Prethermalization for Nonequilibrium Quantum Systems, 24. 7. 2023
62. Ahmed Youssef, Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, Ohio, ZDA: MLHAD: A Machine Learning based Simulation for Hadronization, 3. 8. 2023
63. prof. dr. Jure Zupan, Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, Ohio, ZDA: Prospecting for new physics using muons, 10. 8. 2023
64. Thomas Blommel, Oddelek za fiziko, Univerza v Michiganu, Michigan, ZDA: Hierarchical Decomposition Scheme for Non-Equilibrium Quantum Systems, 13. 8. 2023
65. Liam Scarratt: Probing Aqueous Nanofluids Confined Between an Oil Droplet and a Charged Solid Surface, 20. 7. 2023
66. dr. Christian Johansen, Max Planck Institut za fiziko kompleksnih sistemov, Dresden, Nemčija, 12. 9.–16. 9. 2023
67. Jan Rozman: Extensile-Contractile Phase Separation in an Active Nematic Vertex Model, 14. 9. 2023
68. Urša Uršič: Importance of variation in cytoplasm viscoelasticity throughout embryonic cell division, 5. 10. 2023
69. dr. Giacomo Mazza, Univerza v Pisi, Pisa, Italija: Hidden excitonic quantum states with broken time reversal symmetry, 24. 10. 2023
70. Domen Vaupotič: Effects of Coarse Graining on Topological Indices of Trees, 26. 10. 2023
71. Benedetta Belfatto: Minimally modified Fritzsche texture for quark masses and CKM mixing, 7. 11. 2023
72. Biophysics Journal Club: Marin Šako: Industrial applications of cavitation, 9. 11. 2023
73. dr. Renwick James Hudspeth, Helmholtz center za Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, Nemčija: Tetraquarks & Tuning, 14. 11. 2023
74. dr. Anže Božič: Towards improved simple models of electrostatic interactions in patchy colloids and proteins, 16. 11. 2023
75. Paulo Ferraz, Univerza v Granadi, Granada, Španija: Schwinger dark matter production, 18. 11. 2023
76. dr. Claudia Cornella, Mainz inštitut za teoretično fiziko, Mainz, Nemčija: New Physics in the third generation: current status and future prospects, 21. 11. 2023
77. dr. Matej Kanduč: The enigmatic boundary between hydrophilic and hydrophobic, 23. 11. 2023
78. Rudin Petrossian-Byrne: Quantisation across bubble walls and friction, 28. 11. 2023
79. dr. Dmitry Kiselyov, Weizmann Inštitut za znanost, Rehovot, Izrael: Theory of superconductivity due to Ngai's mechanism in lightly doped SrTiO_3 , 5. 12. 2023
80. Julio Leite: A dynamical origin for the scoto-seesaw mechanism, 5. 12. 2023
81. dr. Florentin Jaffredo, Nacionalni inštitut za jedrsko fiziko, INFN, Pisa, Italija: Incorporating high-pT collider constraints into Flavorful EFTs, 12. 12. 2023
82. Lukas Allwicher, Univerza v Zürichu, Zurich, Švica: The Flavour of New Physics: EFT and models, 14. 12. 2023
83. Ziga Pandur: Understanding bacterial inactivation with cavitation at the single cell level, 14. 12. 2023
84. dr. Shaikh Ahmed Saad, Univerza v Baslu, Basel, Švica: Hunting for New Physics with Pulsar Timing Arrays and other Gravitational Wave Observatories, 19. 12. 2023
85. dr. Tanmoy Sarkar: Inclusion of adaptive tension and strain in vertex model, 21. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Urška Andrenšek, Physics of Living Matter Symposium, Cambridge, Velika Britanija, 27.–30. 9. 2023 (poster)
2. Urška Andrenšek, Winter school of quantitative systems biology, Bangalore, Indija, 2.–16. 12. 2023
3. dr. Adam Basci, dr. German Blesio, prof. dr. Janez Bonča, dr. Banhi Chatterjee, Jože Gasperlin, dr. Denis Golež, dr. Miroslav Hopjan, doc. dr. Jure Kokalj, Klemen Kovač, dr. Zala Lenarčič, Luka Medic, doc. dr. Jernej Mravlje, dr. Sourav Nandy, dr. Luka Pavešič, prof. dr. Peter Prelovšek, doc. dr. Tomaž Rejec, Don Rolih, dr. Madhumita Sarkar, dr. Rafal Swietek, dr. Jan Šuntajs, dr. Martin Ulaga, Iris Ulčakar, prof. dr. Lev Vidmar, prof. dr. Rok Žitko, Workshop of solid state physics, Medana, Slovenija, 12.–14. 4. 2023 (več predavanj in posterji)
4. prof. dr. Borut Bajc, Blaž Bortolato, prof. dr. Ilja Doršner, prof. dr. Svetlana Fajfer, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, dr. Arman Korajac, doc. dr. Nejc Košnik, dr. Jonathan Kriewald, dr. Luka Leskovec, Marco Matteini, dr. Alexey Nefediev, doc. dr. Miha Nemevšek, dr. Emmanuel Ortiz, Lovre Pavičič, prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, dr. Michele Tammara, dr. Lorenzo Ubaldi, Particle Physics from Early Universe to Future Colliders, Portorož, Slovenija, 11.–14. 4. 2023 (več predavanj in posterji)
5. prof. dr. Borut Bajc, Thermalisation in Conformal Field Theories, Mainz, Nemčija, 9.–22. 7. 2023 (predavanje)
6. prof. dr. Borut Bajc, Konferenca BWXX meeting, Vrnjačka Banja, Srbija, 29.–31. 8. 2023 (vabljen predavanje)
7. prof. dr. Borut Bajc, dr. Patric Bolton, Blaž Bortolato, prof. dr. Ilja Doršner, prof. dr. Svetlana Fajfer, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, dr. Arman Korajac, doc. dr. Nejc Košnik, dr. Jonathan Kriewald, Marco Matteini, dr. Alexey Nefediev, doc. dr. Miha Nemevšek, dr. Emmanuel Ortiz, Lovre Pavičič, prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Katarina Trailović, dr. Lorenzo Ubaldi, Ivan Vujmilović, Illusive Physics Beyond the Standard Model, Belica, Slovenija, 11.–13. 10. 2023 (več predavanj in posterji)
8. prof. dr. Borut Bajc, ICTP Workshop on String Theory, Holography and Black Holes, Trst, Italija, 23.–27. 10. 2023
9. prof. dr. Borut Bajc, prof. dr. Janez Bonča, Veronika Bukina, prof. dr. Lev Vidmar, 20. Božični simpozij fizikov, Maribor, Slovenija, 14.–16. 12. 2023 (vabljen predavanje)
10. dr. Pietro Baratella, dr. Patric Bolton, dr. Arman Korajac, doc. dr. Nejc Košnik, dr. Jonathan Kriewald, Marco Matteini, doc. dr. Miha Nemevšek, Lovre Pavičič, Katarina Trailović, dr. Lorenzo Ubaldi, Ivan Vujmilović, 6th Trilateral meeting, Trst, Italija, 15. 12. 2023 (predavanja)
11. dr. German Blesio, prof. dr. Rok Žitko, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023, Icheon, Južna Koreja, 2.–7. 7. 2023 (predavanje, vabljen predavanje)

12. dr. German Blesio, New Generation in Strongly Correlated Electron Systems conference, Lido di Fermo, Italija, 28. 8.–1. 9. 2023 (predavanje)
13. dr. German Blesio, TRIQS Meeting 2023, Pariz, Francija, 4.–6. 9. 2023 (predavanje)
14. prof. dr. Janez Bonča, prof. dr. Lev Vidmar, Superstripes 2023, Ischia, Italija, 26. 6.–1. 7. 2023 (vabljen predavanja)
15. prof. dr. Janez Bonča, Quantum information: Theory and Applications, Cergy Neuville, Francija, 1.–4. 11. 2023 (predavanje)
16. prof. dr. Janez Bonča, Gordon Godfrey Workshop: Spins, Topology and Strong Electron Correlations, Sydney, Avstralija, 20.–24. 11. 2023 (vabljen predavanje)
17. prof. dr. Janez Bonča, dr. Michele Coppola, Jože Gašperlin, dr. Miroslav Hopjan, Klemen Kovač, dr. Gianluca Lagnese, dr. Zala Lenarčič, Luka Medic, doc. dr. Jernej Mravlje, dr. Sourav Nandy, dr. Alexander Osterkorn, Rok Pintar, prof. dr. Peter Prelovšek, Don Rolih, dr. Madhumita Sarkar, Rafal Swietek, dr. Jan Šuntajs, dr. Martin Ulaga, Iris Ulčakar, prof. dr. Lev Vidmar, prof. dr. Rok Žitko, Nonequilibrium Quantum workshop, Kravec, Slovenija, 10.–13. 12. 2023 (več predavanj in posterji)
18. Blaž Bortolato, Workshop on Machine Learning and High-Energy Physics, Dunaj, Avstrija, 12.–14. 12. 2023
19. Veronika Bukina, Physics School on Physics of Viruses, Bad Honnef, Nemčija, 9.–16. 9. 2023
20. Veronika Bukina, The Structural Genome: Merging Physics, Biology & Computation Workshop, Trst, Italija, 11.–13. 10. 2023
21. dr. Banhi Chatterjee, ETSF-19th Young Researchers Meeting, Zaragoza, Španija, 10.–17. 6. 2023 (predavanje)
22. dr. Banhi Chatterjee, dr. Denis Golež, Konferenca: CMD 30 FisMat 2023, Milano, Italija, 3.–8. 9. 2023 (predavanje)
23. dr. Banhi Chatterjee, International Workshop on Correlated Dynamics in Energy Conversion, Göttingen, Nemčija, 10.–19. 9. 2023 (predavanje)
24. prof. dr. Svjetlana Fajfer, dr. Arman Korajac, CHARM 2023, Siegen, Nemčija, 16.–21. 7. 2023 (vabljen predavanje, predavanje)
25. prof. dr. Svjetlana Fajfer, Implication workshop SC, Ženeva, Švica, 25.–28. 10. 2023 (vabljen predavanje)
26. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Heavy Flavour 2023–Quo Vadis?, Islay, Velika Britanija, 19.–23. 6. 2023 (vabljen predavanje)
27. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Glühwein Workshop 2.0, GlühWien, Dunaj, Avstrija, 13.–14. 12. 2023 (vabljen predavanje)
28. Jože Gašperlin, Klemen Kovač, Physics by the Lake, Stirling, Velika Britanija, 14.–25. 8. 2023
29. dr. Denis Golež, 8th PNGF Conference, Orebro, Švedska, 6.–12. 8. 2023 (vabljen predavanje)
30. dr. Denis Golež, dr. Miroslav Hopjan, dr. Zala Lenarčič, dr. Sourav Nandy, dr. Alexander Osterkorn, Rok Pintar, Rafal Swietek, Iris Ulčakar, prof. dr. Lev Vidmar, Trst-LJ-Zagreb meeting of StatPhys and CondMatt group, Trst, Italija, 23. 10. 2023 (vabljen predavanja)
31. dr. Miroslav Hopjan, Rafal Swietek, Madhumita Sarkar, prof. dr. Lev Vidmar, Current topics in the nonequilibrium physics of quantum many-body systems, Göttingen, Nemčija, 25.–27. 9. 2023 (vabljen predavanje)
32. dr. Matej Kanduč, 9th Bubble and Drop Conference, Lublin, Poljska, 11.–16. 6. 2023 (predavanje)
33. dr. Matej Kanduč, Ostwald Colloquium, Darmstadt, Nemčija, 12.–15. 9. 2023 (predavanje)
34. dr. Matej Kanduč, SEPAWA, Berlin, Nemčija, 25.–27. 10. 2023 (predavanje)
35. dr. Matej Kanduč, Workshop Kavitation, Drübeck, Nemčija, 1.–3. 11. 2023 (predavanje)
36. dr. Matej Kanduč, dr. Matej Krajnc, dr. Tanmoy Sarkar, dr. Fabio Staniscia, Marin Šako, prof. dr. Primož Ziherl, Urban Železnik, Christmas Biophysics Workshop (XBW), Ogulin, Hrvaška, 11.–12. 12. 2023 (predavanja)
37. dr. Arman Korajac, Poletna šola umetne inteligence (ESSAI & ACAI 2023), Ljubljana, Slovenija, 24.–28. 7. 2023
38. doc. dr. Nejc Košnik, (LHCP)11th Large Hadron Collider Conference, Beograd, Srbija, 22.–25. 5. 2023 (vabljen predavanje)
39. Klemen Kovač, Workshop – Non-equilibrium Quantum Materials Design, Mainz, Nemčija, 27.–29. 6. 2023 (poster)
40. dr. Jonathan Kriewald, International Workshop on the Origin of Matter- Antimatter Asymmetry, Les Houches, Francija, 12.–17. 2. 2023 (vabljen predavanje)
41. dr. Jonathan Kriewald, Invisibles 23, Göttingen, Nemčija, 27. 8.–1. 9. 2023 (vabljen predavanje)
42. Tjaša Lazič Mihelič, EARMA, Praga, Češka republika, 24.–27. 4. 2023
43. dr. Zala Lenarčič, CCQ IQTN Conference, New York, ZDA, 1.–3. 3. 2023 (predavanje)
44. dr. Zala Lenarčič, Photon-Atom Nonlinearities and Deterministic Applications via Arrays PANDA meeting, Pariz, Francija, 13. 7. 2023
45. dr. Zala Lenarčič, QTD2023 Vienna, Dunaj, Avstrija, 17.–18. 7. 2023 (vabljen predavanje)
46. dr. Zala Lenarčič, dr. Sourav Nandy, dr. Madhumita Sarkar, Rafal Swietek, Iris Ulčakar, prof. dr. Lev Vidmar, School on Quantum Many-Body Phenomena out of Equilibrium, Trst, Italija, 21. 8.–1. 9. 2023 (vabljen predavanja)
47. dr. Zala Lenarčič, Workshop Condensed Matter and Biophysics, Augsburg, Nemčija, 13.–14. 9. 2023 (vabljen predavanje)
48. dr. Zala Lenarčič, dr. Madhumita Sarkar, Workshop Quantum Computing and Simulation in T-NISQ letno srečanje, Benetke, Italija, 10.–13. 10. 2023 (vabljen predavanje)
49. dr. Zala lenarčič, Quantum Technologies in Europe, Madrid, Španija, 22.–23. 11. 2023 (predavanje)
50. dr. Luka Leskovec, Lattice 2023, Batavia, ZDA, 29. 7.–5. 8. 2023 (vabljen predavanje)
51. dr. Luka Leskovec, EuroPlex Conference, Berlin, Nemčija, 10.–15. 9. 2023 (vabljen predavanje)
52. dr. Luka Leskovec, 12th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle (CKM2023), Santiago de Compostela, Španija, 17.–23. 9. 2023 (vabljen predavanje)
53. dr. Luka Leskovec, ACHT 2023: Non-Perturbative Aspects of Nuclear, Particle and Astroparticle Physics, Graz, Avstrija, 27.–29. 9. 2023 (predavanje)
54. Marco Matteini, Lovre Pavičič, Summer School on Particle Physics, Trst, Italija, 18. 6.–1. 7. 2023
55. Marco Matteini, First EuCAPT School: Cosmology, Valencia, Italija, 17.–23. 9. 2023
56. doc. dr. Jernej Mravlje, dr. Luka Pavešič, dr. Madhumita Sarkar, prof. dr. Lev Vidmar, APS March Meeting 2023, Las Vegas, ZDA, 4.–12. 3. 2023 (vabljen predavanja)
57. doc. dr. Jernej Mravlje, TRIQS Meeting 2023, Pariz, Francija, 3.–7. 9. 2023 (vabljen predavanje)
58. dr. Sourav Nandy, 2nd meeting of QuSiED project, Innsbruck, Nemčija, 8.–11. 3. 2023 (vabljen predavanje)
59. dr. Sourav Nandy, OpenQMBP2023, Orsay, Francija, 19.–30. 6. 2023 (predavanje)
60. dr. Sourav Nandy, International school on nonequilibrium phenomena, Erice, Sicilija, Italija, 26. 11.–2. 12. 2023 (poster)
61. dr. Alexey Nefediev, prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, International School Of Nuclear Physics – 44th Course, Erice, Sicilija, Italija, 18.–24. 9. 2023 (2 vabljeni predavanji)
62. dr. Alexey Nefediev, The Rencontres de Moriond QCD and High Energy Interactions, La Thuile, Italija, 25. 3.–1. 4. 2023 (predavanje)
63. dr. Alexey Nefediev, 4th program 2023 The Present and Future of Heavy Flavour and Exotic Hadron Spectroscopy, München, Nemčija, 8.–19. 5. 2023 (predavanje)
64. dr. Alexey Nefediev, dr. Emmanuel Ortiz, 20th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2023), Genova, Italija, 4.–10. 6. 2023 (vabljen predavanje)
65. doc. dr. Miha Nemevšek, Neutrino platform, CERN, Ženeva, Švica, 13.–17. 3. 2023 (vabljen predavanje)
66. doc. dr. Miha Nemevšek, Workshop DCH, Lund, Švedska, 25.–26. 9. 2023 (vabljen predavanje)
67. doc. dr. Miha Nemevšek, Workshop Slovenian teacher programme, CERN, Ženeva, Švica, 2.–6. 10. 2023 (vabljen predavanje)
68. dr. Emmanuel Ortiz, Exotic Hadrons School, Graz, Avstrija, 1.–3. 6. 2023
69. dr. Emmanuel Ortiz, International Symposium on Lattice Field Theory, Batavia, ZDA, 31. 7.–4. 8. 2023 (vabljen predavanje)
70. dr. Alexander Osterkorn, Dynamical Control of Quantum Materials, Dresden, Nemčija, 21.–26. 5. 2023 (predavanje)
71. dr. Luka Pavešič, Hybrid Quantum Technologies Workshop, Klosterneuburg, Avstrija, 3.–6. 4. 2023 (poster)
72. dr. Luka Pavešič, prof. dr. Rok Žitko, BOUNDSTATES 2023, Budimpešta, Madžarska, 11.–14. 6. 2023 (poster, vabljen predavanje)
73. Lovre Pavičič, TAE 2023 – International Workshop on High Energy Physics, Benasque, Španija, 3.–16. 9. 2023
74. Lovre Pavičič, Theory meets experiments: The high intensity frontier of particle physics, Firenze, Italija, 19.–25. 11. 2023
75. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, konferenca Exotic Hadron Spectroscopy, Durham, Velika Britanija, 18.–22. 4. 2023 (vabljen predavanje)
76. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Charmonium resonances, Regensburg, Nemčija, 18.–20. 9. 2023 (vabljen predavanje)
77. prof. dr. Peter Prelovšek, Symposium of Condensed Matter Physics, Beograd, Srbija, 25.–29. 6. 2023 (vabljen predavanje)
78. prof. dr. Peter Prelovšek, Quantum information: Theory and Applications, Cergy Neuville, Francija, 1.–4. 11. 2023 (vabljen predavanje)
79. dr. Anže Rapoš Božič, Structure and topology of RNA in living systems, Trento, Italija, 29. 1.–2. 2. 2023
80. dr. Anže Rapoš Božič, Workshop CECAM, Trst, Italija, 12.–13. 10. 2023 (predavanje)
81. Don Rolih, SFT 2023 – Lectures on Statistical Field Theories, Firenze, Italija, 5.–18. 2. 2023
82. Don Rolih, TRIQS Summer School 2023, Pariz, Francija, 27. 8.–2. 9. 2023
83. Don Rolih, Emergence of Quantum Phases in Novel Materials, Madrid, Španija, 10.–16. 9. 2023
84. dr. Madhumita Sarkar, Nonequilibrium Physics – Current Trends and Future Perspectives, Bad Honnef, Nemčija, 28. 8.–2. 9. 2023 (poster)
85. dr. Madhumita Sarkar, Workshop on Criticality, Dynamics, and Nonequilibrium Behavior in Quantum Systems, Evora, Portugalska, 30. 9.–7. 10. 2023 (predavanje)
86. dr. Tanmoy Sarkar, The Physics of Living Matter Symposium–17th Edition, Cambridge, Velika Britanija, 27. 9.–1. 10. 2023 (poster)
87. Rafal Swietek, Quantum Localization and Glassy Physics, Cargese, Francija, 17.–30. 7. 2023
88. Rafal Swietek, Quantum Matter Out of Equilibrium, Granada, Španija, 3.–8. 9. 2023
89. Marin Šako, CCP5 Summer School 2023, Durham, Velika Britanija, 16.–27. 7. 2023 (poster)
90. Marin Šako, CCP5 Summer School 2023, Ljubljana, Slovenija, 20.–22. 9. 2023
91. prof. dr. Bosiljka Tadić, International Conference on Statistical Physics SigamPgPhi2023, Chania, Grčija, 10.–13. 7. 2023 (vabljen predavanje)
92. prof. dr. Bosiljka Tadić, 3rd Conference on Nonlinearity, Beograd, Srbija, 3.–6. 9. 2023 (vabljen predavanje)

93. dr. Michele Tammaro, NePsi Workshop, Pisa, Italija, 14.–19. 2. 2023 (predavanje)
94. dr. Michele Tammaro, COST Kick-off meeting, Frascati, Italija, 23.–24. 2. 2023 (poster)
95. dr. Michele Tammaro, FCC Pheno workshop at CERN, Ženeva, Švica, 4.–7. 7. 2023 (predavanje)
96. dr. Lorenzo Ubaldi, Axion across boundaries between particlephysics, astrophysics, cosmology and forefront detection technologies, Firenze, Italija, 11.–28. 5. 2023 (predavanje)
97. dr. Lorenzo Ubaldi, COST action (Cosmic Wispers) meeting, Bari, Italija, 4.–9. 9. 2023 (predavanje)
98. dr. Lorenzo Ubaldi, 21-cm cosmology and dark matter workshop, Trst, Italija, 11.–15. 9. 2023 (predavanje in soorganizacija delavnice)
99. dr. Lorenzo Ubaldi, New Physics from Galaxy Clustering II, Trst, Italija, 6.–10. 11. 2023
100. Iris Ulčakar, Out-of-equilibrium physics with photons and atoms, Les Houches, Francija, 5.–12. 3. 2023 (poster)
101. Iris Ulčakar, 2023 School Non-Equilibrium Quantum Dynamics, Boulder, Kolorado, ZDA, 3.–28. 7. 2023 (poster)
102. prof. dr. Lev Vidmar, Dynamical Foundations of Many-Body Quantum Chaos, Orsay, Francija, 25. 3.–8. 4. 2023 (vabljen predavanje)
103. prof. dr. Lev Vidmar, Nonequilibrium physics-Current trends and future perspectives, Bad Honnef, Nemčija, 27.–31. 8. 2023 (vabljen predavanje)
104. prof. dr. Primož Ziherl, ENROL Summer Retreat, Kuthmühle, Avstrija, 5.–8. 7. 2023 (predavanje)
105. prof. dr. Primož Ziherl, Active mechanics, from single cells to cell layers, tissues and development, Cambridge, Velika Britanija, 3.–9. 9. 2023 (vabljen predavanje)
106. prof. dr. Rok Žitko, SKM23, DPG Spring Meeting, Dresden, Nemčija, 26.–31. 3. 2023 (vabljen predavanje)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. prof. dr. Borut Bajc: Udense University, Odense, Danska, 8.–15. 5. in 19.–26. 11. 2023 (delovni obisk)
2. dr. German Blesio: Technische Universität Graz, Gradec, Avstrija, 7.–9. 2. 2023
3. prof. dr. Janez Bonča: Department of Physics, Northeastern University, Boston, ZDA, 12.–18. 6. 2023
4. prof. dr. Janez Bonča: Los Alamos National Lab, Los Alamos, ZDA, 7.–18. 9. 2023
5. Blaž Bortolato, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik: fakulteta za naravoslovje, Univerza na Primorskem, Ajdovščina, Slovenija, 9. 11. 2023
6. dr. Banhi Chatterjee: International research center MAGTOP, Institute of Physics, Polish Academy of Science, Varšava, Poljska, 1.–6. 6. 2023
7. prof. dr. Svetlana Fajfer: National Science Centre, Krakow, Poljska, 19.–23. 2. 2023 (članica strokovno skupino za ocenjevanje predlogov v okviru sheme OPUS + LAP, SONATA in PRELUDIUM BIS)
8. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik: Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 7.–11. 6. 2023 (sodelovanje v okviru bilateralnega projekta)
9. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik: Zürich University, Zürich, Švica, 15.–16. 9. 2023 (član komisije za zagovor doktorata)
10. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik: Cambridge University, Cambridge, Velika Britanija, 23.–25. 11. 2023 (delovni obiska in predavanje)
11. Jože Gasperlin: CCQ, Flatiron Institute, New York, ZDA, 26. 5.–14. 8. 2023 (delovni obisk v okviru Simons Foundation)
12. dr. Denis Golež: College de France, Pariz, Francija, Pariz, Francija, 7. 6.–1. 7. 2023 (delovni obisk in predavanje)
13. dr. Denis Golež, dr. Zala Lenarčič: Tsinghua University, Peking, Kitajska, 19.–21. 7. 2023 (delovni obisk in vabljen predavanje)
14. Miroslav Hopjan: International Center for Theory of Quantum Technologies of the University of Gdansk, Poljska, 28. 2.–19. 3., 16.–25. 6. in 26. 8.–3. 9. 2023 (delovni obisk)
15. dr. Matej Kanduč: Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, Nemčija, 18.–23. 4. 2023
16. dr. Matej Kanduč: Université PSL, Pariz, Francija, 27.–30. 11. 2023 (član komisije za habilitacijo)
17. dr. Arman Korajac: Univerza v Cincinnatiju, Cincinnati, ZDA, 6.–24. 3. 2023 (delovni obisk)
18. dr. Arman Korajac: Tehnična univerza v Dortmundu, Nemčija, 28. 11.–2. 12. 2023

19. dr. Matej Krajnc: Max Planck Institute for Physics of Complex Systems, Dresden, Nemčija, 14.–16. 2. 2023 (delovni obisk in predavanje)
20. dr. Matej Krajnc: Institut de Biologie Valrose, Nica, Francija, 29. 10.–2. 11. 2023 (delovni obisk in predavanje)
21. dr. Jonathan Kriewald: Laboratoire de Physique de Clermont-Ferrand, Aubiere, Francija, 2.–9. 4. 2023 (delovni obisk)
22. dr. Zala Lenarčič: Nikhef Institute, Amsterdam, Nizozemska, 24.–26. 5. 2023 (delovni obisk in predavanje)
23. dr. Zala Lenarčič: Flatiron institut, New York, ZDA, 26.–28. 2. 2023 (delovni obisk)
24. dr. Zala Lenarčič: Innsbruck, Avstrija, 7.–13. 3. 2023 (letno srečanje konzorcija QuSiED in diskusija s partnerji konzorcija TNiSQ)
25. dr. Zala Lenarčič: CY Cergy-Paris University, Pariz, Francija, 7.–10. 6. 2023 (delovni obisk)
26. dr. Zala Lenarčič: Augsburg University, Augsburg, Nemčija, 24. 10.–2. 12. 2023 (gostujoča profesorica)
27. dr. Zala Lenarčič: Photon-Atom Nonlinearities and Deterministic Applications via Arrays (PANDA) PANDA meeting, Pariz, Francija, 13. 7. 2023
28. dr. Zala Lenarčič, delovni obisk in vabljen predavanje, na Tsinghua University, 19.–21. 7. 2023
29. dr. Luka Leskovec: Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt, Nemčija, 4.–18. 6. 2023 (delovni obisk in predavanje)
30. Marco Matteini: CERN, Ženeva, Švica, 5.–17. 3. 2023 (delovni obisk)
31. Marco Matteini: SISSA International School for Advanced Studies, Trst, Italija, 10.–11. 10. 2023 (delovni obisk)
32. doc. dr. Jernej Mravlje: Ecole Polytechnique in College de France, Pariz, Francija, 10.–18. 1. 2023 (delovni obisk in predavanje)
33. doc. dr. Jernej Mravlje: Technische Universität, Gradec, Avstrija, 21. 3. in 19.–20. 10. 2023 (delovni obisk)
34. doc. dr. Jernej Mravlje: Univerza v Novi Gorici, Vipava, Slovenija, 30. 5. 2023 (član komisije za zagovor doktorata)
35. doc. dr. Jernej Mravlje: CCQ Flatiron Institute, New York, ZDA, 5.–27. 11. 2023 (delovni obisk)
36. dr. Sourav Nandy: University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija, 8.–11. 3. 2023 (delovni obisk in predavanje)
37. dr. Sourav Nandy: Institute of Technology, Karlsruhe in Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching, Nemčija, 19.–26. 11. 2023 (delovni obisk in predavanje)
38. dr. Alexey Nefediev: Institut für Theoretische Physik II, Ruhr Universität Bochum, Nemčija, 19. 2.–4. 3. 2023 (delovni obisk)
39. dr. Alexey Nefediev: Graz University, Graz, Avstrija, 3. 5. 2023 (delovni obisk)
40. Luka Pavešič: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Poljska, 23.–26. 4. 2023 (delovni obisk in predavanje)
41. prof. dr. Peter Prelovšek: Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 16.–21. 7. 2023 (delovni obisk)
42. prof. dr. Peter Prelovšek: Tokyo University of Science in RIKEN, Tokyo, Japonska, 7.–15. 10. 2023 (delovni obisk)
43. dr. Tanmoy Sarkar: University of Nebraska Medical Center (UNMC), Omaha, ZDA, 19. 11.–1. 12. 2023 (delovni obisk)
44. Rafał Swietek: Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 23. 3.–11. 4. in 5.–27. 8. 2023 (delovni obisk)
45. dr. Michele Tammaro: Univerza v Cincinnatiju, ZDA, 11.–25. 3. 2023 (sodelovanje v okviru bilateralnega projekta)
46. dr. Michele Tammaro: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Firenze, Italija, 31. 8.–22. 9. 2023 (delovni obisk in predavanje)
47. dr. Lorenzo Ubaldi: University of Genova, Genova, Italija 1.–6. 10. 2023 (delovni obisk)
48. dr. Lorenzo Ubaldi: SISSA, Trst, Italija, več enodnevnih ali dvodnevnih delovnih obiskov skozi celo leto
49. dr. Lorenzo Ubaldi: University of Genova, Italija, University of Bonn, Nemčija, University of Zürich, Švica, 20. 3.–5. 4. 2023 (sodelovanje in vabljen predavanja)
50. dr. Lorenzo Ubaldi: University of Granada, Španija, 18.–24. 6. 2023 (delovni obisk)
51. dr. Martin Ulaga: Tokyo University of Science, Tokyo, Japonska, 8. 5.–16. 6. 2023 (delovni obisk)
52. prof. dr. Lev Vidmar: Maynooth University, Dublin, Irska, 7.–11. 5. 2023 (član komisije za zagovor doktorata in delovni obisk)
53. prof. dr. Rok Žitko: Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 17. 11. 2023 (delovni obisk)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Adam Bacsí, PhD, Madžarska
2. prof. dr. Borut Bajc, znanstveni svetnik
3. Pietro Baratella, PhD., Italija
4. Patrick Douglas John Bolton, PhD. Združeno kraljestvo
5. prof. dr. Janez Bonča*, znanstveni svetnik
6. Banhi Chatterjee, PhD., Poljska, odšla 1. 10. 2023
7. Michele Coppola, PhD., Francija
8. prof. dr. Mojca Čepič*, znanstveni svetnik
9. Ilja Döršner, PhD., USA, znanstveni svetnik

10. prof. dr. Svetlana Fajfer, znanstveni svetnik
11. **prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, znanstveni svetnik - vodja odseka**
12. dr. Denis Golež
13. Miroslav Hopjan, PhD., Švedska
14. dr. Matej Kanduč
15. doc. dr. Jure Kokalj*
16. prof. dr. Nejc Košnik
17. dr. Matej Krajnc
18. Gianluca Lagnese, PhD., Italija
19. dr. Zala Lenarčič
20. doc. dr. Luka Leskovec
21. doc. dr. Jernej Mravlje
22. Sourav Nandy, PhD., Indija

23. Alexey Nefediev, PhD., Rusija, znanstveni svetnik
24. prof. dr. Miha Nemešsek
25. Alexander Osterkorn, PhD., Nemčija
26. prof. dr. Peter Prelovšek, znanstveni svetnik
27. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj*, znanstveni svetnik
28. prof. dr. Anton Ramšak*, znanstveni svetnik
29. dr. Anže Rapoš Božič
30. doc. dr. Tomaž Rejec*
31. Tanmoy Sarkar, PhD., Indija
32. Madhumita Sarkar, PhD., Indija
33. prof. dr. Bosiljka Tadić, znanstveni svetnik
34. Lorenzo Ubaldi, PhD., ZDA
35. prof. dr. Nataša Vaupotič*, znanstveni svetnik
36. prof. dr. Lev Vidmar
37. prof. dr. Primož Žiharič*, znanstveni svetnik
38. prof. dr. Rok Žitko, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

39. *German Gabriel Blesio, PhD., Argentina, odšel 1. 12. 2023*
40. Jonathan Kriewald, PhD., Francija
41. Emmanuel Ortiz Pacheco, PhD., Mehika
42. Fabio Staniscia, PhD., Italija
43. dr. Jan Šuntajs*
44. *Michele Tammaro, PhD., odšel 1. 10. 2023*
45. dr. Lara Ulčakar*

Mlajši raziskovalci

46. Urška Andrenšek, mag. fiz.
47. Blaž Bortolato, mag. fiz.
48. Veronika Bukina, mag. fiz.
49. Jože Gašperlin, Msc., Anglija
50. Arman Korajac, Msc., Nemčija
51. Klemen Kovač, mag. fiz.
52. Marco Matteini, Msc., Italija
53. Luka Medic, mag. fiz.
54. *dr. Luka Pavešić, odšel 1. 11. 2023*
55. Lovre Pavičić, Msc., Hrvaška
56. Rok Pintar, mag. fiz.
57. Don Rolih, mag. fiz.
58. Rafał Piotr Swietek, Msc., Poljska
59. Marin Šako, Msc., Hrvaška
60. Katarina Trailović, MSc, Švica
61. Martin Ulaga, mag. fiz.
62. Iris Ulčakar, mag. fiz.
63. Domen Vaupotič, mag. fiz.
64. Ivan Vujmilović, mag. phys., Hrvaška
65. Urban Železnik, mag. fiz.

Strokovni sodelavci

66. Tjaša Lazič Mihelič, univ. dipl. var.

Tehniški in administrativni sodelavci

67. Nevenka Hauschild
68. Alma Mehle, univ. dipl. biol.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Centro Atomico Bariloche (CAB)–Grupo de Partículas Elementales, Bariloche, RN, Argentina
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina
3. Universidad de Buenos Aires–Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Buenos Aires, Argentina
4. CP3-Origins, University of Southern Denmark, Odense, Danska
5. Syddansk Universitet, Odense M, Danska
6. Center for quantum devices, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Copenhagen, Danska
7. University of Southern Denmark, Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology, Danska

8. Johannes Gutenberg University Mainz (JGU)–PRISMA Cluster of Excellence, Mainz, Nemčija
9. Regensburg University, Nemčija
10. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Physikalisches Institut, Freiburg, Nemčija
11. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Nemčija
12. Institut für Theoretical Physics, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija
13. Dipartimento di Fisica ed Astronomia, Università di Padova, Padova, Italija
14. Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università dell'Aquila, L'Aquila, Italija
15. INFN Sez. Trst, ItalijaScuola Internazionale di Studi Avanzati, Trst, Italija
16. ICTP, Trst, Italija
17. SISSA, Trst, Italija
18. European Organization for Nuclear Research (CERN), Genève, Švica
19. Paul Scherrer Institut (PSI), ŠvicaSwiss Federal Institute of Technology, Zurich, Švica
20. Laboratoire de Physique Théorique (Bât. 210), Université Paris-Sud and CNRS, Orsay-Cedex, Francija
21. Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles, Pariz, Francija
22. Université Grenoble Alpes, Institut nanosciences et cryogenie, Grenoble, Francija
23. Collège de France (Pariz, Francija)
24. Centre de Physique Théorique, Ecole Polytechnique (Palaiseau, Francija)
25. Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), La Laguna (Tenerife), Španija
26. Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias, Málaga, Španija
27. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Madrid, Španija
28. University of Warsaw, Department of Chemistry, Warsaw, Poljska
29. Department of Theoretical Physics, Faculty of Fundamental Problems of Technology, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska
30. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Science, Poznań, Poljska
31. University of Graz, Avstrija
32. University of Vienna, Faculty of Physics, Vienna, Avstrija
33. Technische Universität Graz (Graz, Avstrija)
34. Institut Rudjer Bošković, Division of Theoretical Physics, Zagreb, Hrvaška
35. University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Split, Hrvaška
36. Institute of Physics, Zagreb, HrvaškaInstitute of Physics Belgrade, University of Belgrade, Beograd, Srbija
37. Mimar Sinan University, Turčija
38. Plymouth University, Plymouth, Velika Britanija
39. School of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh, Velika Britanija
40. University of Oxford–Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics, Oxford, Velika Britanija
41. University of Sussex, Department of Physics and Astronomy, Falmer, Brighton, Velika Britanija
42. University of Aberdeen, Department of Chemistry, Aberdeen, Velika Britanija
43. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Kalifornija, ZDA
44. National Institutes of Health, Frederick, Maryland, ZDA
45. Department of Physics, Princeton University, Princeton, ZDA
46. Northeastern University, Boston, ZDA
47. University of California Santa Cruz, Santa Cruz, ZDA
48. Flatiron Institute (New York, ZDA)
49. The Pennsylvania State University, Department of Physics, University Park, PA, ZDA
50. Department of Physics, Oklahoma State University, Stillwater, ZDA
51. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, ZDA
52. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Kanada
53. Canadian Institute for Advanced Research, Toronto, Kanada
54. High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japonska
55. Kindai University, Department of Physics, Osaka, Japonska
56. Tohoku University, Faculty of Science, Sendai, Japonska
57. Toyota Physical and Chemical Research Institute, Nagakute, Japonska
58. Tel Aviv University, Raymond & Beverly Sackler School of Physics & Astronomy, Tel Aviv, Izrael
59. Institute for Research in Fundamental Sciences, Tehran, Iran
60. Universidad Técnica Federico Santa María, Centro-Científico-Tecnológico de Valparaíso, Valparaíso, Čile
61. Department of physics, Center for Condensed Matter Theory, Indian Institute of Science, Bengaluru, Indija
62. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
63. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Institut za biofiziko, Ljubljana
64. Institut za fizikalno biologijo, Ljubljana
65. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor
66. Univerza v Novi Gorici

ODSEK ZA FIZIKO NIZKIH IN SREDNJIH ENERGIJ

F-2

Na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij posvečamo svoje delo raziskavam na področju jedrske, atomske in molekularne fizike ter optike. Pridobljeno znanje na področju atomske in jedrske fizike uporabljamo na mnogih interdisciplinarnih področjih, kot so radiološki nadzor okolja, raziskave materialov, fuzija, biologija, shranjevanje energije, medicina, farmacija, varstvo okolja in arheometrija. Pri svojem delu uporabljamo obsežen sklop lasne raziskovalne opreme, vključno z ionskim pospeševalnikom s petimi žarkovnimi linijami, detektorskimi sistemi ionizirajočega sevanja, kalibriranimi sevalnimi polji in eksperimentalnimi napravami za atomsko fiziko.

Raziskovalci z Odseka pri svojih raziskavah intenzivno uporabljamo velike eksperimentalne naprave v tujini. V okviru mednarodnih kolaboracij ali z lastnimi prijavami eksperimentov dostopamo do pospeševalnikov, sinhrotronov, laserjev na proste elektrone in tokamakov, ki jih v državi nimamo. Kot protiutež gostovanjem naših raziskovalcev na raziskovalnih instalacijah v tujini omogočamo dostop raziskovalcem iz tujine na pospeševalnik IJS v okviru programa mednarodnega dostopa infrastrukturnih projektov Evropske skupnosti.

Na pospeševalniku Mainz Microtron smo nadaljevali raziskovalno delo znotraj kolaboracije A1. Pri tem smo se osredotočili na analizo podatkov in objavo rezultatov nedavnih eksperimentov, ki smo jih izvedli z visokoločljivostnimi spektrometri. Z opazovanjem sipanja elektronov na širokem območju prenosov gibalne količine Q^2 smo izvedli sistematično študijo monopolnega prehodnega oblikovnega faktorja delca α (Kegel in sod., 2023). Primerjava podatkov z najsodobnejšimi izračuni je pokazala, da sodobni opisi jedrske sile, vključno s tistimi, ki sledijo iz efektivne teorije polja, ne morejo pravilno reproducirati opazovanega vzbujevanega stanja. Hkrati smo nadaljevali študij sevalnih popravkov v procesih elastičnega sipanja elektronov na jedrih, kjer ti predstavljajo prevladujoči del ozadja. Z razvojem novega generatorja dogodkov (Mihovilovič in sod., 2023) nam je obliko sevalnega repa elastičnega vrha uspelo opisati z natančnostjo, boljšo od 10 % na celotnem energijskem območju sipanih elektronov. To nam zdaj omogoča zanesljivo uporabo tega generatorja pri bodočih analizah sipalnih podatkov s pospeševalnikov elektronov in njihovi interpretaciji. Prav tako smo nadaljevali proučevanje prenosa polarizacije na vezane protone v jedrih, in sicer z raziskovanjem jedrskih reakcij, v katerih s polariziranimi elektroni iz jeder izbijamo protone in nato merimo njihovo polarizacijo. Opazovani proces je močno orodje za proučevanje vpliva jedrskega medija na lastnosti oblikovnih faktorjev nukleonov (Kolar in sod., 2023). Medtem ko izračuni zajamejo bistvo naših podatkov o dvojnopolizacijskih asimetrijah, nam naša statistična natančnost omogoča opazovanje odstopanj, ki jih s preprostim skaliranjem ni mogoče pojasniti, tudi če spreminjamo razmerje med električnimi in magnetnimi oblikovnimi faktorji.

Naše delo v Nacionalnem centru pospeševalnikov Thomas Jefferson (Jefferson Lab) je bilo osredotočeno na analizo podatkov iz več eksperimentov z elektroni z energijami do 6 GeV, ki smo jih izvedli v času pred nadgradnjo pospeševalnika CEBAF. Hkrati pa imamo tudi nove rezultate iz eksperimentov, ki smo jih izvedli z nadgrajenim pospeševalnikom elektronov z energijami do 12 GeV. V delu *Jianga in sod., 2023* poročamo o prvih rezultatih eksperimenta E12-14-012, v katerem smo izmerili inkluzivni presek za sipanja elektronov na titanovi tarči v vzporedni kinematiki. V publikaciji smo predstavili analizo podatkov, ki zajemajo manjkajoče energije med 12 in 80 MeV in manjkajoče gibalne količine med 12 in 250 MeV/c, ter jih izmerili z elektroni energije 2,2 GeV. Reducirani sipalni presek smo izmerili z natančnostjo $\sim 7\%$ v odvisnosti od manjkajoče energije in od manjkajoče gibalne količine.

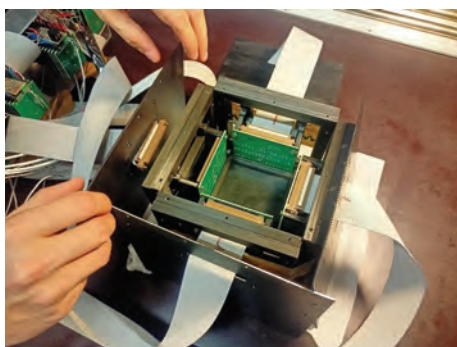
Pridružili smo se začetnim prizadevanjem pri načrtovanju in razvoju eksperimentalnega programa na prihajajočem trkalniku elektronov in ionov (EIC) v Združenih državah Amerike. EIC bo zmogljiva eksperimentalna naprava z visoko svetilnostjo, v kateri bomo opazovali interakcije visokoenergijskega žarka elektronov z visokoenergijskimi žarki protonov in ionov. To nam bo omogočilo proučevanje tistih aspektov strukture nukleonov, kjer prevzamejo glavno vlogo gluoni. Poleg tega bodo polarizirani žarki delcev v EIC omogočili povsem nov vpogled v prostorsko in spinsko strukturo protona, nevtrona in lahkih ionov. Sodelovanje smo začeli v konzorciju EIC Comprehensive Chromodynamics Experiment (ECCE), ki se osredotoča na razvoj splošnega koncepta detektorja, ki bo izpolnjeval zahteve, določene v EIC Yellow Report (Bock in sod., 2023; Seidl in sod., 2023a; Seidl in sod., 2023b; Bylinkin in sod., 2023; Li in sod., 2023; Zhang in sod., 2023; Fanelli in sod., 2023; Bernauer in sod., 2023).

Vzporedno z izgradnjo Evropskega centra za raziskave z antiprotoni in ioni FAIR (Darmstadt, Nemčija), ki spada med največje projekte za temeljne raziskave v svetu, že poteka t. i. faza 0 raziskovalnega programa na obstoječih pospeševalniških kapacitetah instituta GSI v Darmstadtu. Pretežno smo usmerjeni v fizikalni program NUSTAR, ki obsega študijo jedrske strukture in reakcij eksotičnih atomskih jeder, ključnih za oblikovanje snovi v vesolju. Močneje smo vpeti v dve kolaboraciji: HISPEC/DESPEC in Super-FRS.

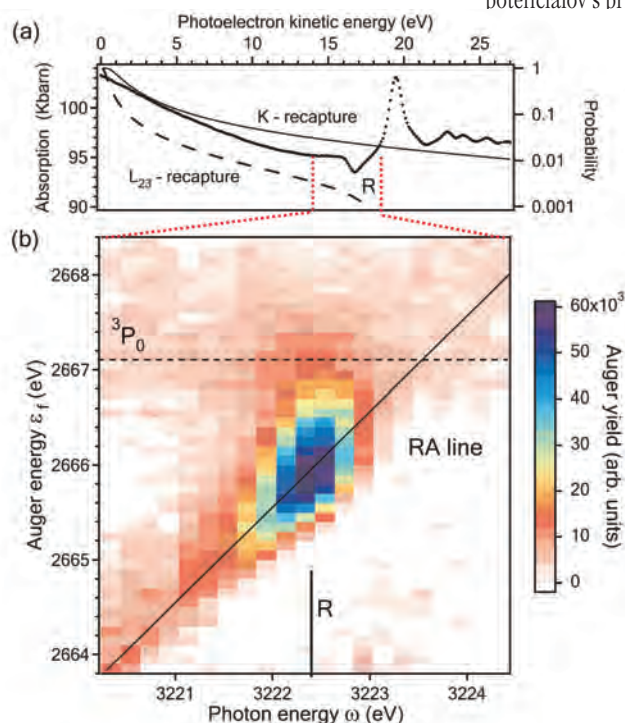


Vodja:

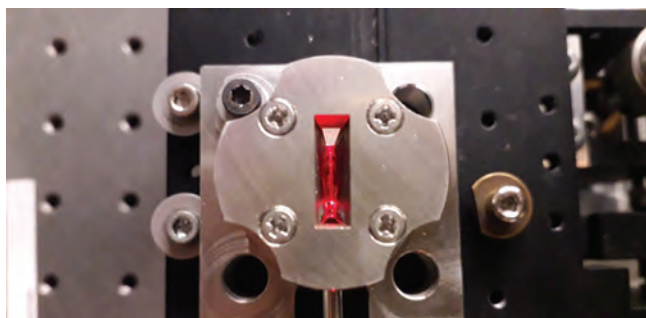
prof. dr. Primož Pelicon



Slika 1: Implantacijski detektor FIMP (Fiber Implanter) za eksperimente DESPEC v centru FAIR v Darmstadtu. Detektor FIMP je sestavljen iz scintilacijskih vlaken, zloženih v plasti. Svetlobni signal iz scintilacijskih vlaken zaznavamo s silicijevimi fotopomnoževalkami.



Slika 2: (a) Izmerjeni absorpcijski spekter v okolici stanj $1s-13p-1nln'l'$ v Ar in verjetnost za zajetje fotoelektrona 1s iz lupine K (polna črta) in lupine L (črtkana črta). (b) Asimetrična oblika pridelka resonantnih Augerjevih elektronov v bližini resonance $1s-13p-14s2$ izdaja prisotnost novega tridelčnega procesa (Žitnik in sod., Phys. Rev. Lett. 131, 2023, 203001).



Slika 3: Odprta kvarčna kapilara iz mikroizdelave s femtosekundnim laserjem, ki smo jo uporabili za generacijo kratkovalovne svetlobe prek stimulirane emisije v heliju.

Z eksperimenti HISPEC/DESPEC odgovarjamo na osnovna vprašanja o jedrski strukturi in astrofiziki na mejah jedrskega obstoja. Za kolaboracijo DESPEC v GSI/FAIR smo na IJS razvili scintilacijske detektorje na osnovi bizmutovega germanata (BGO). Sestavili smo 18 detektorjev BGO za aktivno štetje germanijevih detektorjev in zmanjšanje spektralnega šuma, ki je posledica Comptonso sipanih fotonov. Eksperiment HISPEC-10 bo del nizkoenergijske žarkovne linije na FAIR in bo namenjen eksperimentom z upočasnenimi eksotičnimi ioni. Za HISPEC-10 na IJS smo pripravili hlajene segmentirane silicijevе detektorje za meritev energijskih izgub, trajektorij in celotne kinetične energije ionov.

Končali smo konstrukcijo prototipa novega implantacijskega detektorja FIMP (Fiber Implanter) za eksperimente kolaboracije DESPEC (slika 1). Detektor FIMP je sestavljen iz scintilacijskih vlaken, zloženih v plasti, katerih signal se bere s silicijevimi fotopomnoževalkami. Izvedli smo simulacije žarkov redkih izotopov za eksperimente HISPEC/DESPEC na Super-FRS. Nadaljevali smo z razvojem programske opreme Ion Motion Solver (IMS), ki je namenjena optimizaciji transporta ionov skozi linijo ionske optike, ki sestavlja masni spektrometer FRS Ion Catcher (FRS-IC) kolaboracije SFRS. Pri razvoju programskega paketa se posvečamo izračunavanju elektrostatskih potencialov za elektrode različnih geometrij in opisu izračunanih potencialov s primernimi baznimi funkcijami.

Na področju raziskav v atomski, molekularni in optični fiziki smo v letu 2023 v sodelovanju s francoskimi raziskovalci objavili rezultate raziskave razpadnih poti dvojne vrzeli $2p^2$ v argonu, pri čemer smo koincidenčno povezali signal Augerjevih elektronov iz magnetne steklenice z nabojnim stanjem ionov (Mailhot in sod., 2023). Eksperiment na žarkovni liniji GALAXIES na sinhrotronu SOLEIL je omogočil bolj podrobno analizo razpadov v končna ionska stanja z nabojem v obsegu med 1^+ in 4^+ ter potrdil meritev razpadnega razmerja za eksotičen razpad dvojne vrzeli z emisijo enega samega Augerjevega elektrona, o katerem smo poročali že leta 2016. V letu 2023 smo zaključili teoretično obravnavo in objavili rezultate o resonančnem Augerjevem razpadu dvojno vzbujenih stanj $1s^13p^1nln'l'$ v argonu. Gre za prvo podrobno obravnavo tega fenomena, ki poteka prek vmesnih dvojno vzbujenih atomskih stanj. V članku primerjamo karakteristike nesevalnega s sevalnim razpadom teh stanj, o katerem smo prvič poročali že leta 2009. Podrobnosti razsežne raziskave smo objavili v daljšem članku (Žitnik in sod., 2023), najzanimivejše nove izsledke pa v povezanem, krajšem delu v reviji *Physical Review Letters* (Žitnik in sod., 2023). Mednje spada ujetje fotoelektrona 1s, v katerega so vpleteni trije elektroni: poleg Augerjevega elektrona pri ujetju fotoelektrona sodeluje še elektron v zunanji lupini argona (slika 2).

Konec leta 2023 smo po dolgi pripravi, ki so vključevale podrobno teoretično obravnavo (Chuchurka in sod., 2023) z laserjem na proste elektrone Fermi na žarkovni liniji EIS-TIMEX, uspešno izvedli poskus 20224028 *Samoojačanje spontane emisije iz helijevih autoionizacijskih stanj* (PIM. Žitnik). Tako smo prvič videli, da je tudi za kratkoživa stanja, ki z 99,99-odstotno verjetnostjo razpadajo nesevalno, v istem mediju mogoče prek mehanizma stimulirane emisije ojačati njihovo lastno, izjemno šibko spontano emisijo. Pod določenimi pogoji se je v plinu velik del močne vpadne svetlobe ($\approx 1\%$) z valovno dolžino 19,5 nm pretvoril v svetlobo z valovno dolžino 30,3 nm. Učinkovitost pretvorbe je bila odvisna od gostote plina in intenzitete svetlobe. Velik izziv pri poskusu je bila priprava plinaste tarče, ki mora biti brez okenc zaradi močne absorpcije v trdnih snoveh v spektralnem območju svetlobe EUV. Naši sodelavci z inštituta IFN-CNR v Milanu pod vodstvom R. Martineza so v ta namen izdelali mikrokapilaro, s katero je mogoče pri instalaciji v vakuumsko komoro doseči tlak prek 100 mbar (slika 3). Skupaj z njimi in Politehniko v Milanu smo pripravili tudi načrt za podoktorsko usposabljanje na tej problematiki v okviru projekta SQUASH, ki ga koordinira Institut "Jožef Stefan", ter pridobili začetna sredstva za skupni projekt IJS-CNR z naslovom *Kolektivna emisija iz gostlega plina: pot do novih virov koherentnih virov svetlobe XUV*.

V letu 2023 smo nadaljevali analizo naših meritev prehoda šibke svetlobe skozi gost plin na območju enojno vzbujenih stanj He, ki smo jih izvedli na žarkovni liniji GasPhase na sinhrotronu Elettra. Te meritve so komplementarne meritvam z močno svetlobo. V absorpcijskih spektrih pri visokem pritisku smo opazili povečan pomen prispevkov, kjer absorpcija fotona poteče v hipu, ko je atom helija v bližini drugega (tretjega ...) fotona. Zaradi take »molekulske« geometrije se spremeni vzbujevalna energija za prehod v vzbujeno »molekulsko« stanje pod ionizacijskim pragom in absorpcija se zgodi pri energijah, kjer običajno ne poteka. Uporabili smo navednice, saj ne gre za pravo absorpcijo v molekulah plina ali v skupkih atomov, ampak za tranzientne molekulske konfiguracije, ki se vzpostavijo zgolj za kratek hip zaradi gibanja atomov in nanje foton naleti bolj pogosto v gostejšem plinu. Za interpretacijo takih spektrov so potrebni novi molekularni izračuni, ki jih je treba primerno obtežiti in sestaviti v končni rezultat.

V letu 2023 smo dosegli pomemben napredek pri analizi rezultatov dvofotonske (dvobarvne) fotoionizacije, pri kateri smo testirali, ali sta fotoionizacija s prvim fotonom in vzbuditev prehoda v preostalem ionu dva neodvisna dogodka. Poskus 20209086 Močna sklopitev kontinuuma prek vzbujanja sredice pri ionizaciji nad pragom (PI A. Mihelič) s svetlobo laserja na proste elektrone Fermi na žarkovni liniji LDM kaže, da fotoelektron vidi prehod v ionu, prav tako pa je opazen tudi dikroični efekt, do katerega lahko pride le, če obravnavamo atom v celoti.

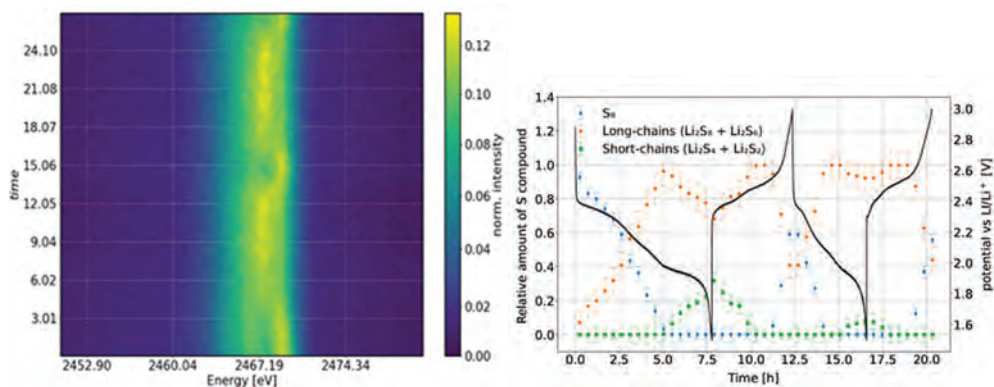
Ta pojav so pred kratkim opisali v reviji *Nature*, zato predvidevamo njegovo raziskovalno aktualnost v prihodnjih letih.

Na področju uporabe rentgenskih spektroskopskih metod za proučevanje elektrokemijskih materialov s področja shranjevanja električne energije smo v letu 2023 nadaljevali meritve rentgenskega ramanskega sipanja (XRS) na naprednih baterijskih sistemih. Marca 20203 smo na žarkovni liniji P01 sinhrotrona PETRA III na DESY v Hamburгу izvedli meritve ogljikovega absorpcijskega roba K (XANES in EXAFS) in natrijevega roba K v natrijevih anodah ionskih baterij. Spektroskopska tehnika XRS z uporabo trde rentgenske svetlobe z visoko prodornostjo je omogočila natančno strukturno in kemijsko karakterizacijo razsežnih vzorcev anode v natrij-ionski bateriji v različnih točkah njenega cikla. Proučevanje naprednih baterijskih sistemov z metodo XRS smo junija nadaljevali z meritvami na žarkovni liniji ID20 sinhrotrona ESRF v Grenoblu. V tem eksperimentu smo proučevali elektrokemijski mehanizem v aluminij-organskih baterijskih sistemih. Opravili smo meritve kisikovega absorpcijskega roba K ter aluminijevih robov K in L v katodah iz različnih organskih polimerov. Opravljene meritve v načinu *ex-situ* in še posebej meritve v načinu *operando* omogočajo natančen vpogled v osnovni elektrokemijski mehanizem delovanja tega novega obetavnega razreda naprednih multivalentnih organskih akumulatorskih sistemov. Oba eksperimenta sta potekala v sodelovanju s skupino za moderne baterijske sisteme s Kemijskega inštituta.

Poleg uporabe spektroskopskih metod s sinhrotronsko svetlobo smo se v preteklem obdobju veliko ukvarjali tudi z implementacijo laboratorijskih meritev rentgenske emisije (XES), kar bi omogočilo prenos spektroskopske analize naprednih baterijskih materialov s sinhrotrona v manjše laboratorije. Predhodne meritve žveplovih spektrov XES na katodah baterij litij-žveplo v načinu *ex-situ*, ki smo jih opravili na Mikroanalitskem centru pri vzbujanju emisije s pospešenimi ioni, smo nadgradili z *operando* meritvami spektrov XES po fotovzbuditvi s svetlobo iz rentgenske



Slika 4: Fotografija eksperimentalne postavitve na žarkovni liniji ID 20 na ESRF v Grenoblu s spektrometrom XRS, ki vsebuje 72 sferičnih analizatorskih kristalov, razporejenih v šest posameznih modulov. Taka konfiguracija zagotavlja analizo sipane rentgenske svetlobe z visoko energijsko ločljivostjo in velikim prostorskim kotom detekcije.



Slika 5: Časovna serija žveplovih K β spektrov, izmerjenih v načinu *operando* na katodi baterije LiS med dvema zaporednima cikloma (levo). Analiza izmerjenih spektrov je omogočila natančno kvantitativno analizo pretvorbe žvepla v katodi baterije med njenim delovanjem (poslano v objavo v *ACS Applied Energy Materials*).

cevi. Meritve smo opravili na Univerzi v Fribourgu z von Hamosovim rentgenskim spektrometrom. Analiza izmerjenih spektrov K β , ki ustrezajo prehodom iz zasedenih valenčnih stanj, je omogočila natančno spremljanje elektrokemijske pretvorbe žvepla v katodi v dveh zaporednih baterijskih ciklih. Rezultati meritev so pomemben prispevek v procesu razvoja in implementacije naprednih spektroskopskih diagnostičnih orodij. Ta zagotavljajo lažje dostopno laboratorijsko analizo elektrokemijskih procesov in lastnosti materialov, brez omejitev, ki jih narekuje uporaba velike raziskovalne infrastrukture, kot so sinhrotroni.

Na področju razvoja analitskih metod z ionskimi žarki, ki poteka na Mikroanalitskem centru, smo v letu 2023 objavili karakterizacijo osnovnih lastnosti in prve primere uporabe novega rentgenskega spektrometra PB-WDS (angl. parallel-beam wavelength dispersive), ki smo ga razvili v domačem laboratoriju in vgradili na prenovljeno žarkovno linijo z zunanjim protonskim žarkom (*Isaković in sod. 2023*).

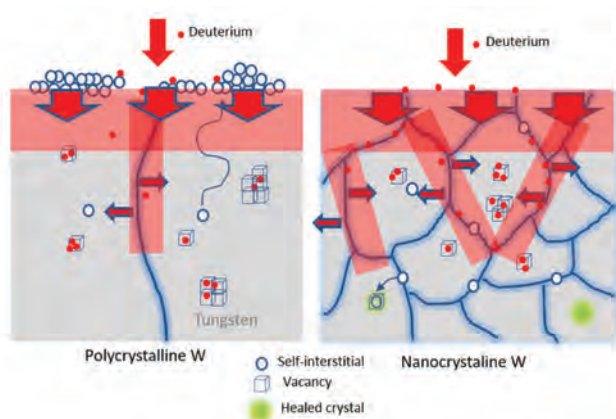
V okviru raziskav tankih organskih filmov s prirojenimi elektronskimi lastnostmi smo proučevali stabilnost ultratankih filmov organskih radikalov azafulerenov ($C_{59}N$) in njihovo potencialno uporabo za formiranje dvodimenzionalnih spinskih mrež molekulskih qubitov. V sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi (F-5, IJS) ter sodelavci Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani smo pridobili dva merilna termina s sinhrotronsko svetlobo na pospeševalniku Elettra (žarkovna linija ALOISA ID 20220129). V objavi *Tanuma in sod., 2023* smo s kombinacijo rentgenske spektroskopije in nizkotemperaturne tunelske mikroskopije proučili samourejanje $C_{59}N$ molekul na površini Au(111). Najpomembnejši rezultat te študije je odkritje izredne stabilnosti $C_{59}N$ radikalov v drugi nekontaktni plasti, kar odpira številne možnosti za manipulacijo z njihovim spinskim (kubitnim) stanjem. Pojav spinsko aktivne faze azafulerenov v supramonoplastnem nanosu in določitev pogojev stabilnosti faze organskih radikalov odpira nove pristope pri snovanju organskih molekulskih arhitektur za molekulsko spintroniko.

Na podlagi izsledkov raziskav azafulerenskih radikalov s sinhrotronsko svetlobo smo pridobili dodatne merilne termine na pospeševalniku Elettra (ID 20225294 in ID 20220289) in projekt NFFA Europe (ID 447-2023). Poleg tega smo razširili polje raziskav radikalnih monomerov $C_{59}N$ na druge tipe površin in druge supramolekularne komplekse azafulerenskih radikalov.

V Laboratoriju za fuzijske raziskave smo v letu 2023 izvajali več projektnih nalog, ki jih usklajujemo v okviru konzorcija EUROfusion. Med njimi smo proučevali vlogo mej zrn (angl. grain boundaries, GBs) na transport devterija (D) in nastanek defektov v nanokristalnih volframovih (W) filmih, nanosenih na volframovo podlago (Markelj in sod., 2023). Za ta namen smo uporabili volframove vzorce s tremi različnimi velikostmi zrn: vzorec s filmom z zrni velikosti nekaj nanometrov, vzorec s filmom z zrni velikosti nekaj sto nanometrov in vzorec s filmom z zrni v mikrometrskem območju. Vzorce smo obsevali z volframovimi ioni energije 20 MeV pri temperaturi 300 K in s tem ustvarili defekte v kristalni strukturi. Nato smo vzorce obstreljevali z devterijevimi ioni z energijo 300 eV pri temperaturi 450 K in s tem dekorirali obstoječe defekte v strukturi z devterijevimi atomi. Transport in zadrževanje D v strukturi smo nadzirali z merjenjem globinskih profilov D po določenih časih izpostavljenosti D ionov. Pri tem smo uporabili metodo jedrske reakcijske analize (NRA) z ionskim žarkom ^3He . Iz končne koncentracije D v poškodovanem območju smo lahko določili koncentracijo defektov, na katere se ujame devterij. Izkazalo se je, da ima vzorec z najmanjšo velikostjo zrn najvišjo koncentracijo D, ki se zmanjšuje z naraščanjem velikosti zrn, zato

meje zrn v nanokristalnem volframu, obsevanem pri 300 K, ne izboljšajo radiacijske odpornosti volframa. S temi poskusi smo prvič eksperimentalno dokazali, da je transport D hitrejši v volframu iz nanometrskih zrn v primerjavi z volframom, zgrajenim iz mikrometrskih zrn. To pomeni, da D atomi hitreje difundirajo vzdolž mej zrn kot prek mehanizma preskakovanja med defekti (slika 6).

V letu 2021 smo pridobili Evropski raziskovalni projekt ENR-MAT.01. JSI z naslovom *Detekcije napak in vodika s pomočjo metod z ionskim žarkom v načinu kanaliziranja za fuzijo – DeHydroC*. V okviru projekta smo v letu 2023 analizirali rezultate meritev kanaliziranja, izvedenih v centru CMAM Avtonomne univerze v Madridu. Pri tem smo proučevali nastanek induciranih defektov pri obstreljevanju volframa z volframovimi ioni. Ta postopek t. i. avtoimplantacije uporabljamo za simulacijo strukturnih poškodb v materialih, ki jih povzročajo nevtroni iz fuzijske reakcije. Analizo strukturnih defektov smo izvedli z večenergijsko Ruthefordovo povratno sipalno spektroskopijo v kanaliziranem načinu (večenergijska C-RBS). Podrobna analiza vzorcev z uporabo presevalne elektronske mikroskopije (TEM) je razkrila prisotnost dislokacijskih linij in zank različnih velikosti. Za simulacijo izmerjenih spektrov C-RBS, izmerjenih pri štirih različnih energijah He žarka vzdolž smeri $\langle 111$, smo uporabili programsko kodo RBSADEC. Prvič smo za material volfram kot



Slika 6: Shematski prikaz polikristalnega in nanokristalnega vzorca volframa in poteka difuzije devterija. Difuzija poteka prek mehanizma preskakovanja samointersticijskih atomov in prek naselitve praznin in skupkov praznin z devterijem, ki so nastali v zrnih zaradi sevalnih poškodb, ustvarjenih z avtoimplantacijo (obsevanjem volframa z ioni volframa z energijo 20 MeV, s čimer smo ustvarili poškodbe, podobne tistim pri obsevanju s fuzijskimi nevtroni) (*Markelj in sod., Nuclear Materials and Energy 37, 2023, 101509*).

vhodne podatke uporabili molekulsko-dinamične (MD) simulacije prekrivajočih se kaskad. Za vzorec, pripravljen pri manjšem odmerku, smo dosegli zelo dobro ujemanje med simuliranimi in eksperimentalnimi spektri. Pri vzorcu, obsevanem z visokim fluksom volframovih ionov, smo opazili neskladje, kar pripisujemo prisotnosti razširjenih defektov, kot so dislokacijske linije. Defekte tega tipa smo opazili s TEM, vendar jih ni mogoče vnesti v simulacije zaradi končnih velikosti osnovnih celic MD.

Na ionskem pospeševalniku Instituta "Jožef Stefan" smo v letu 2023 uporabnikom zagotovili 4000 žarkovnih ur. Obratovanje pospeševalnika smo namenili izvajanju niza nacionalnih in mednarodnih projektov. Del obratovanja smo namenili programu mednarodnega dostopa v okviru evropskega infrastrukturnega projekta RADIATE (<https://www.ionbeamcenters.eu/radiate/>). Tako smo v letu 2023 izvedli osem projektov mednarodnega dostopa za uporabnike iz Belgije, Hrvaške, Irana, Južne Afrike, Italije, Francije, Bocvane in Izraela. Pospeševalnik IJS je vključen v mrežo ARIE (Analytical Research Infrastructures in Europe), v okviru katere smo leta 2023 začeli izvajati nov evropski infrastrukturni projekt ReMade@ARI na področju krožnega gospodarstva ter uspešno prijavili evropski infrastrukturni projekt RIANA. Oba projekta sta namenjena programu mednarodnega dostopa na raziskovalno infrastrukturo ionskega pospeševalnika IJS.

Visokoenergijske fokusirane ionske žarke smo intenzivno uporabljali za raziskave na področju biologije in medicine. Med drugim smo proučevali elementne porazdelitve v listih oljk sort belica in leccino (Pongrac in sod., 2023). Proučevali smo možnost bogatenja ajdinih kalčkov s cinkom ob uporabi hladne plazme (Starič in sod., 2023). V okviru izboljševanja metode slikovne masne spektrometrije MeV-SIMS smo proučili kemijsko občutljivost metode (Vasič in sod., 2023) ter učinke kationizacijskih primesi (Jenčič in sod., 2023a) in plasti zlata na vzorcih (Jenčič in sod., 2023b) na intenziteto signala sekundarnih molekularnih ionov. Proučili smo možnosti rekonstrukcije topografije vzorcev iz asimetriji pridelkov karakterističnih rentgenskih žarkov na posameznih segmentih segmentiranega anularnega detektorja rentgenskih žarkov (Gholami Hatam in sod., 2023).

Posvetili smo se ekstrakciji nizkoenergijskih ionskih žarkov z območja ionskih izvorov, da bi lahko ionske žarke iz odpraševalnega in duoplazemskega ionskega izvora uporabili na načrtovani nizkoenergijski žarkovni liniji. Nizkoenergijske ionske žarke bomo uporabili za ionsko implantacijo in za simulacije sončnega vetra.

Izvedli smo prvo uspešno uporabo nove žarkovne linije nanožarek. Na nanožarku smo implantirali ione ^{15}N z energijo 3 MeV v diamant za produkcijo parov dušik-vrzel, ki se obnašajo kot kvantni centri. Po implantaciji smo izvedli visokotemperaturno pregrevanje v vakuumu in z optično fluorescenco potrdili prisotnost kvantnih centrov tipa dušik 15-vrzel v vzorcih.

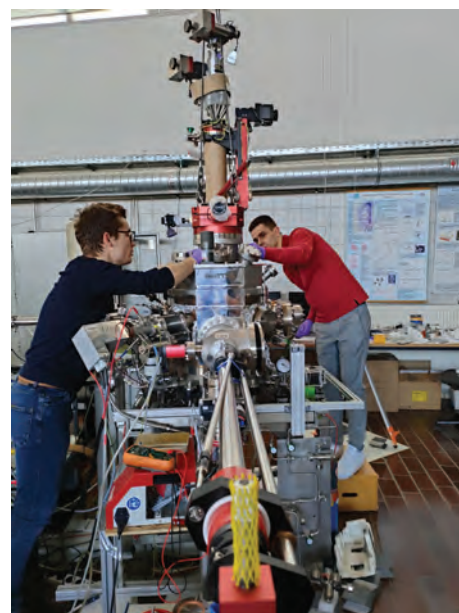
Sodelavci Infrastrukturnega centra za meritve ionizirajočega sevanja (ICMIS) smo izvajali številne strokovne aktivnosti pri nadzoru radioaktivnosti v okolju v Sloveniji, merjenju osebnih doz in umerjanju merilnih instrumentov. Opravljali smo meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama in tekočinsko scintilacijsko spektrometrijo. Poleg tega smo merili osebne in okoljske doze ionizirajočega sevanja s termoluminiscenčnimi dozimetri. Laboratoriji na odseku, ki se ukvarjajo z meritvami ionizirajočega sevanja, so akreditirani po standardu SIST EN ISO/IEC 17025. V okviru akreditacije smo v letu 2023 sodelovali pri mednarodnih interkomparacijah in pri teh dejavnostih izkazali vrhunsko usposobljenost.

S svojim delom smo prispevali k obratovalnemu radiološkemu nadzoru Jedske elektrarne Krško (NEK). Poleg tega smo izvajali nadzor radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji, merili plinaste efluente iz NEK, nadzorovali nivoje radioaktivnosti v okolici Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju (ARAO) in neodvisno preverjali obratovalni radiološki nadzor v okolici NEK. Izvajali smo tudi nadzor radioaktivnosti podzemnih vod na območju odlagališča NSRAO ter meritve skupne aktivnosti sevalcev alfa in beta v pitni vodi. Prav tako smo izvajali nadzor radioaktivnosti pitne vode v Republiki Sloveniji.

Po pooblastilu Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) smo opravili meritve osebnih doz (osebnega doznega ekvivalenta) s termoluminiscenčnimi dozimetri (TL-dozimetri) pri 2211 izpostavljenih delavcih v državi, od tega pri 148 sodelavcih na Institutu "Jožef Stefan" (IJS). Podatke redno pošiljamo na Upravo RS za varstvo pred sevanji v centralni register prejetih doz ionizirajočega sevanja. V letu 2023 smo opravili meritve okoljskega doznega ekvivalenta s TL-dozimetri na 132 različnih lokacijah.

V Nacionalnem dozimetričnem servisu (NDS) smo opravili skupno 249 kalibracij, od tega 162 kalibracij merilnikov hitrosti doze, 42 kalibracij elektronskih osebnih dozimetrov in 45 kalibracij merilnikov kontaminacije. Poleg tega smo izvedli 195 serij obsevanj pasivnih dozimetrov.

Skupno smo v Laboratoriju za merjenje radioaktivnosti (LMR) opravili 697 meritev v okviru rednih programov nadzora, za sporadične zunanje naročnike pa še 83 meritev, strnjenih v 18 poročil. Od tega je bilo 6 poročil pripravljenih v okviru pooblastila Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) oziroma Uprave za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR).



Slika 7: Montaža novega 6-osnega vakuumskega goniometra za ionsko kanalaranje v mikroanalitskem centru.

V okviru monitoringa radioaktivnosti v okolici NE Krško in po celotni Sloveniji smo opravili 171 meritev vsebnosti tritija v vodnih vzorcih. Za sporadične zunanje naročnike smo analizirali vsebnost tritija v 9 vzorcih.

Pripravili smo tudi različna strokovna mnenja in terenske akcije za naročnike:

- Izvajanje programa sistematičnega pregledovanja delovnega okolja v dejavnostih z materiali, ki vsebujejo naravno prisotne radionuklide za leto 2023.
- Strokovna mnenja o ustreznosti merilnikov, ki jih zaposleni v jedrskih in sevalnih objektih uporabljajo pri svojem delu.
- Ekološki laboratorij z mobilno enoto na IJS je 8. 6. 2023 po naročilu URSJV opravil radiološki pregled na železniški postaji Ljubljana Polje. Izvedene so bile meritve hitrosti doze peska ob železniških tirih. Naše meritve so pokazale, da tako specifična kot skupna aktivnost peska presegata mejo za izvzetje oziroma za opustitev nadzora. Na podlagi naših meritev je glavni inšpektor za jedrsko in sevalno varnost z URSJV zahteval sanacijo stanja.
- Za Upravo za zaščito in reševanje smo izdelali mnenje o smiselnih kratkoročnih, srednjeročnih in dolgoročnih načrtih, ki bi lahko prispevali h krepitvi naše pripravljenosti na KBRJ grožnje, hkrati pa bi krepili tudi pripravljenost na ravni EU.

V letu 2023 smo nadaljevali sodelovanje z Uradom RS za meroslovje (MIRS). Kot imenovana institucija znotraj organizacije EURAMET (angl. European Association of National Metrology Institutes) delujemo kot nosilec nacionalnega etalona za področje ionizirajočega sevanja v Sloveniji. V okviru metroloških dejavnosti smo izvajali aktivnosti pri projektih:

- EMPIR 2019, JNT-w08 supportBSS – podpora evropski metrološki mreži za zanesljivo zakonodajo na področju zaščite pred sevanji.
- PR-02570-1 – priprava referenčnih in interkomparacijskih vzorcev, sodelovanje z IARMA.

V letu 2023 smo bili vključeni v aktivnosti evropskega projekta Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji (The Partnership for Radiation Protection Research) (PIANOFORTE) kot odgovorna institucija za Slovenijo.

Sodelovali smo tudi v programu MEREIA pod pokroviteljstvom IAEA, ki združuje znanstvenike in strokovnjake s področja varstva pred sevanji in radioekologije. IJS je bilo zaupano vodenje delovne skupine WG3 *Historical Marine Dumping of Radioactive Waste*.

Nadaljevali smo dejavnosti na tehničnem projektu Mednarodne agencije za jedrsko energijo TC IAEA SLO9022 z naslovom *Strengthening the Capacity of Slovenia in Emergency Preparedness and Response Radiation Monitoring*.

V okviru financiranja Uprave RS za zaščito in reševanje (URSZR) smo v letu 2023 kupili ionizacijsko celico, ki je najbolj občutljiv merilnik hitrosti doze v okolju. Nadomestili smo stare radijske postaje za komunikacijo s centrom za obveščanje (CORS) in NEK v mobilnem radiološkem laboratoriju. Nabavili smo nov močnejši agregat, ki zagotavlja zadostno oskrbo z električno energijo med terenskimi meritvami.

V okviru razpisa ARIS za pakete opreme smo v letu 2023 pridobili novo opremo za Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo. V Sistem za okoljsko forenziko s C14 in H-3 (DEFORT) je vključen nov sistem za elektrolizo (kopel s termostatom in krmilniki), dva seta grelcev za primarno in sekundarno destilacijo, liofilizator in sistem za dekontaminacijo.



Slika 8: Prikaz priprave vzorcev solate za analizo vsebnosti radionuklidov (sliki levo) in terenske meritve in-situ (slika desno) na vaji RUME (maj 2023, Ormož).

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. 9th DeHydroC meeting, Ljubljana, 29.–31. 3. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

- Partnerska skupina Max Planck
Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH
dr. Andreja Šestan Zavašnik
- EMPIR - supportBSS; Podpora Evropski metrološki mreži za zanesljivo zakonodajo o zaščiti pred sevanjem
EURAMET e.V.
mag. Denis Glavič Cindro
- EMPIR; AEROMET II; Napredna metrologija aerosolov za znanost o atmosferi in za kvaliteto zraka
EURAMET e.V.
doc. dr. Klemen Bučar
- COST CA18222; Atosekunda kemija
COST Association AISBL
doc. dr. Andrej Mihelič
- COST CA18212; MD-GAS - Molekularna dinamika v plinasti fazi
COST Association AISBL
prof. dr. Matjaž Žitnik
- Regionalni projekt TC RER/7/014: Posodabljanje elementov nadzora radioaktivnosti okolja in ocene vplivov v regiji
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Benjamin Zorko
- Eksperimenti in modeliranje in situ prevzemanja, transporta in sproščanja vodikovih izotopov v obstreljevanem volframu; Permeacija vodika v materialih pomembnih za fuzijo
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Sabina Markelj
- Detekcija vodikovih izotopov preko NRA metode, preseki in dobre prakse; Razvoj in uporaba tehnik s pospešenimi ioni za obstreljevanje in karakterizacijo materialov pomembnih za fuzijsko tehnologijo
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Sabina Markelj
- H2020 - RADIATE; Raziskave in razvoj z ionskimi žarki - Napredna tehnologija v Evropi
European Commission
prof. dr. Matjaž Kavčič
- H2020 - ČistaVKE; Čista energija iz vodika in kovin
European Commission
prof. dr. Matej Lipoglavšek
- H2020 - HITRIplus; Integracija raziskav težko jonskih terapij
European Commission
doc. dr. Matjaž Vencelj
- OE - EUROfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
- OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
- OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
- OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
- OE - PIANOFORTE; Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji
European Commission
doc. dr. Benjamin Zorko
- OE - ReMade-at-ARI; Razvoj obnovljivih materialov na analitskih raziskovalnih infrastrukturah
European Commission
prof. dr. Primož Pelicon
- OE - TITANS; Vpliv in prenos tritija v naprednih jedrskih reaktorjih
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
- EMPIR; OpMetBat - Operando metrologija materialov za shranjevanje električne energije
EURAMET e.V.
prof. dr. Matjaž Kavčič
- COST CA18212; E-COST-GRANT-CA18212-c09b5731 - Občutljivost elektrona na kemijsko okolico pri razpadu TEOE na atomu Cl v preprostih molekulah
COST Association AISBL
prof. dr. Matjaž Žitnik

PROGRAMI

- Raziskave arheološke dediščine
dr. Eva Menart
- Predmet kot reprezentanca: okus, ugled, moč (Raziskave materialne kulture na Slovenskem)
dr. Marijan Nečemer

- Struktura hadronskih sistemov
prof. dr. Simon Širca
- Raziskave atomov, molekul in struktur s fotoni in delci
prof. dr. Matjaž Žitnik
- Fuzijske tehnologije
doc. dr. Sabina Markelj

PROJEKTI

- Strukturirana svetloba kot orodje za tvorbo in analizo novih stanj snovi
prof. dr. Matjaž Žitnik
- Alternativni pristopi k zagotavljanju kvalitetnega in varnega mikrobioma ajde
prof. dr. Primož Pelicon
- S spoznanji iz delovanja rastlin z učinkovitim privzemom mineralnih hranil do izboljšane preskrbe z minerali
prof. dr. Primož Pelicon
- Visoko energijski aluminij kovinski-organski akumulatorji
prof. dr. Matjaž Kavčič
- Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji
prof. dr. Primož Pelicon
- Rentgenska spektroskopija v nežnem energijskem področju za proučevanje naprednih materialov in dinamičnih procesov
prof. dr. Matjaž Kavčič
- Detekcija napak in vodika v kristalni rešetki s pomočjo ionskih metod v načinu kanaliziranja za fuzijo
doc. dr. Sabina Markelj
- Precizijske študije inkluzivnega odziva jeder
prof. dr. Simon Širca
- Načrtovanje in razvoj DT-procesiranih Fe-Al zlitin s samotvornimi preprekami za prepustnost vodika za najzahtevnejša okolja
doc. dr. Sabina Markelj
- Izdelava posameznih NV centrov v diamantu z ionsko implantacijo
dr. Žiga Barba
- SIMBION - EuBI
prof. dr. Primož Pelicon
- FAIR
dr. Jelena Vesić
- Izvedba meritev skupne aktivnosti sevalcev alfa in beta v pitni vodi za leto 2023
Ministrstvo za zdravje
dr. Jasmina Kožar Logar
- Izvedba monitoringa radioaktivnosti pitne vode za leto 2023 - SKLOP 2
Ministrstvo za zdravje
doc. dr. Benjamin Zorko
- Izvajanje programa nadzora radioaktivnosti v okolici objekta CSRAO za leto 2023
ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke
dr. Marijan Nečemer
- Fuzijske tehnologije
doc. dr. Sabina Markelj
- Manjše usluge
mag. Branko Vodenik
- Kalibracije
Boštjan Črnič, mag. med. fiz.
- Razne analize; Referenčni materiali
dr. Jasmina Kožar Logar
- CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Primož Pelicon

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

- Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti ELME 2020-2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajezbe za HE Mokrice
IRGO Consulting, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- SKLOP1: Meritve plinastih efluentov - Specifične analize H-3 in C-14 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025; SKLOP 2: Meritve plinastih efluentov - Spektrometrija gama in analiza stroncija Sr-89/90 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK v povezavi s HE Brežice za leti 2022 in 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko

OBISKI

1. prof. dr. Jelena Ajtić, Jelena Krneta Nikolić, Darko Sarvan, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, 10.–13. 9. 2023
2. prof. dr. Jelena Ajtić, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, 20.–22. 11. 2023
3. dr. Ivana Coha, IRB, Zagreb, Hrvatska, 1. 2.–31. 12. 2023
4. dr. Juergen Gerl, Hu Hao, FAIR/GSI, Darmstadt, Nemčija, 6. 11. 2023
5. Federica Pappalardo, University of Aix-Marseille, Marseille, Francija, 26. 3.–6. 5. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Sabina Markelj, doc. dr.: The influence of grain size on the displacement damage creation, D retention and D transport in tungsten, 16. 5. 2023
2. Federica Pappalardo: University of Aix-Marseille, Marseille, Francija: *In-situ* ellipsometric measurements on W and WO₃ exposed to deuterium and helium plasma, 20. 4. 2023
3. Janosch Schoon, dr.: Odpovedi sklepnih protez, 12. 9. 2023
4. Alexander Smolka, dr.: Lunar exosphere, its mechanism and dynamics, 6. 11. 2023
5. Mirjana Vasić: Chemical sensitivity of a mass spectrometry imaging method MeV-SIMS, 22. 9. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Žiga Brenčič, IPAC 2023, Benetke, Italija, 7.–12. 5. 2023
2. Klemen Bučar, M36 Final Meeting, Pariz, Francija, 27.–30. 6. 2023
3. Klemen Bučar, ICESS15, Oulu, Finska, 19.–31. 8. 2023
4. Aleksandra Cvetinović, NRM2023, Varena, Italija, 11.–17. 6. 2023
5. Aleksandra Cvetinović, Matej Lipoglavšek, ICCF-25, Szczecin, Poljska, 27. 8.–1. 9. 2023
6. Boštjan Črnič, SSDL Tech Meeting, Dunaj, Avstrija, 28. 5.–2. 6. 2023
7. Helena Fajfar, Denis Glavič Cindro, Jasmina Kožar Logar, Branko Vodenik, Dan meroslovja 2023, Ljubljana, 17. 5. 2023
8. Helena Fajfar, Denis Glavič Cindro, Dan akreditacije, Kranj, 8. 6. 2023
9. Helena Fajfar, delavnica Trajnostna prihodnost meroslovja, Ljubljana, 9. 11. 2023
10. Helena Fajfar, izobraževanje Meroslovni sistem RS in zagotavljanje meroslovne sledljivosti, Ljubljana, 1. 12. 2023
11. Denis Glavič Cindro, EURAMET meeting, Madrid, Španija, 26. 2.–2. 3. 2023
12. Denis Glavič Cindro, Jasmina Kožar Logar, Toni Petrovič, ICRM 2023, Bukarešta, Romunija, 26. 3.–31. 3. 2023
13. Denis Glavič Cindro, EURADOS TRAINING COURSE 2023, Atene, Grčija, 17.–22. 9. 2023
14. Denis Glavič Cindro, XXXII SIMPOZIJUMDZSCG, Budva, Srbija in Črna gora, 3.–6. 10. 2023
15. Matjaž Kavčič, BTAP meeting, Grenoble, Francija, 26.–28. 4. 2023
16. Matjaž Kavčič, Ava Rajh, sestanek projekta OpMetBat, Torino Italija, 3.–5. 5. 2023
17. Matjaž Kavčič, Udeležba na sestanku IAC konference EXRS, Atene, Grčija, 21.–23. 9. 2023
18. Matjaž Kavčič, Mitja Kelemen, Primož Pelicon, Paula Pongrac, IBA&PIXE2023, Toyama, Japonska, 6.–15. 10. 2023
19. Mitja Kelemen, Esther Punzon Quijorna, Sabina Markelj, NENE 2023, Portorož, 12.–14. 9. 2023
20. Andrej Košiček, Primož Pelicon, sestanek Radiate, Split, Hrvatska, 14.–16. 4. 2023
21. Gregor Košir, Matjaž Vencelj, Jelena Vesić, NUSTAR Annual Meeting 2023, Darmstadt, Nemčija, 26. 2.–2. 3. 2023
22. Jasmina Kožar Logar, 13. simpozij HDZZ, Poreč, Hrvatska, 18.–21. 4. 2023
23. Jasmina Kožar Logar, delavnica ESIR, Gradec, Avstrija, 10.–14. 7. 2023
24. Jasmina Kožar Logar, ENVIRA, Sevilla, Španija, 14.–26. 9. 2023
25. Romana Krištof, Konferenca New Cryogenic and Isotope Technologies for Energy and Environment, Baile Govora, Romunija, 17.–21. 10. 2023
26. Matej Lipoglavšek, 17th Russbach School on Nuclear Astrophysics, Russbach, Avstrija, 11.–16. 3. 2023
27. Sabina Markelj, Second Research Coordination Meeting, Dunaj, Avstrija, 21.–25. 2. 2023
28. Sabina Markelj, Esther Punzon Quijorna, PFMC-19, Bonn, Nemčija, 22.–28. 5. 2023
29. Sabina Markelj, IREMEV project meeting, Lille, Francija, 11.–14. 6. 2023
30. Sabina Markelj, ICFRM-21, Granada, Španija, 20.–28. 10. 2023
31. Sabina Markelj, letni sestanek WP MAT-IREMEV, Garching, Nemčija, 22.–24. 11. 2023
32. Sabina Markelj, MiNES 2023, New Orleans, ZDA, 9.–15. 12. 2023

33. Andrej Mihelič, Janez Turnšek, Matjaž Žitnik, ISWAMP 2023, ICPEAC 2023, Saint-Sauveur, Ottawa, Kanada, 20. 7.–2. 8. 2023
34. Miha Mihovilović, sestanek CBRN svetovne skupine, Bruselj, Belgija, 31. 1.–2. 2. 2023
35. Miha Mihovilović, Benjamin Zorko, Training Activities on Workshop on Monitoring During a Nuclear or Radiological Emergency (MNRE), Mihara, Japonska, 17.–26. 3. 2023
36. Miha Mihovilović, Arctic REIHN, Bodo, Norveška, 9.–12. 5. 2023
37. Miha Mihovilović, Toni Petrovič, predstavitev delovanja urada FOCP in švicarskih mobilnih enot, Bern, Švica, 31. 5.–3. 6. 2023
38. Miha Mihovilović, workshop Neutrino Scattering at Low and Intermediate Energies, Mainz, Nemčija, 25. 6.–1. 7. 2023
39. Miha Mihovilović, FORMATEX 2023, Linz, Avstrija, 13.–17. 9. 2023
40. Primož Pelicon, Sestanek ReMade@ARI, København, Danska, 26.–29. 9. 2023
41. Primož Pelicon, IFIN-HH PAC annual meeting of 2023, Bukarešta, Romunija, 22.–24. 11. 2023
42. Toni Petrovič, Klara Poiškruha, EURADOS Annual Meeting, Porto, Portugalska, 11.–15. 6. 2023
43. Klara Poiškruha, NORM 2023, Mežica, 10. 10. 2023
44. Esther Punzon Quijorna, Euro-Biolmaging All-Hands Meeting, Heidelberg, Nemčija, 16.–19. 4. 2023
45. Ava Rajh, Janez Turnšek, NSDD Analytical Plan Development Workshop, Stockholm, Švedska, 5.–11. 2. 2023
46. Mirko Ribič, Semicon 2023, München, Nemčija, 14.–15. 11. 2023
47. Jurij Simčič, New capabilities and countries in European Space Conference 2023, Noordwijk, Nizozemska, 22.–25. 5. 2023
48. Jurij Simčič, Konferenca Space2Business, Brno, Češka republika, 27.–29. 11. 2023
49. Simon Širca, workshop PREN 2023/GDH Programme at JLab, Mainz, Nemčija, 25. 6.–1. 7. 2023
50. Simon Širca, delavnica Tensor Spin Observables, Trento, Italija, 9.–12. 7. 2023
51. Primož Vavpetič, ZUCOMAT 2023, Herceg Novi, Srbija in Črna gora, 3.–9. 9. 2023
52. Primož Vavpetič, Technical Meeting On Novel Applications, Dunaj, Avstrija, 10.–15. 12. 2023
53. Jelena Vesić, NUPPEC, Debrecen, Madžarska, 30. 5.–2. 6. 2023
54. Jelena Vesić, ARIS 2023, Avignon, Francija, 4.–10. 6. 2023
55. Jelena Vesić, IAEA Side Event on Nuclear Data, Dunaj, Avstrija, 25.–27. 9. 2023
56. Jelena Vesić, Agata Week and Agata Collaboration Council meeting, Padova, Italija, 15.–20. 10. 2023
57. Jelena Vesić, delovni obisk NUPECC LRP, Darmstadt, Nemčija, 29. 10.–2. 11. 2023
58. Branko Vodenik, NSDD Analytical Plan Development Workshop, Ljubljana, 1.–3. 2. 2023
59. Benjamin Zorko, Meeting on the coordination of the ongoing activities under IAEA's MREIA programme, Dunaj, Avstrija, 13.–16. 6. 2023
60. Benjamin Zorko, sestanek generalne skupščine PIANOFORTE, Budimpešta, Madžarska, 5.–6. 12. 2023
61. Matjaž Žitnik, CLEO®/Europe-EQEC 2023, München, Nemčija, 27.–29. 6. 2023
62. Matjaž Žitnik, konferenca COST akcije MD-GAS (CA18212), Dubrovnik, Hrvatska, 24.–30. 9. 2023
63. Matjaž Žitnik, Sodelovanje pri predstavitvi projekta IJS-CNR, Rim, Italija, 4.–6. 12. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Klemen Bučar, Matjaž Kavčič, Ava Rajh: DESY, Hamburg, Nemčija, 15.–22. 3. 2023 (meritve)
2. Klemen Bučar, Matjaž Kavčič, Ava Rajh: ESFR, Grenoble, Francija, 12.–19. 6. 2023 (meritve)
3. Klemen Bučar, Andrej Mihelič, Janez Turnšek, Matjaž Žitnik: FEL Fermi, Trst, Italija, 20.–30. 10. 2023 (meritve)
4. Aleksandra Cvetinović: IFIN, Bukarešta, Romunija, 22.–26. 10. 2023 (meritve)
5. Boštjan Črnič, Rok Roš Opaškar: BFS, Ronneburg, Nemčija, 19.–22. 6. 2023 (meritve)
6. Boštjan Črnič: Institut Vinča, Beograd, Srbija, 5.–8. 9. 2023 (meritve)
7. Matjaž Kavčič, Ava Rajh: Univerza v Fribourgu, Fribourg, 23.–28. 4. 2023 (meritve)
8. Mitja Kelemen, Sabina Markelj, Esther Punzon Quijorna: HZDR, Rossendorf, Nemčija, 4.–7. 6. 2023 (meritve)
9. Gregor Košir, Jelena Vesić: INFN LEGNARO, Padova, Italija, 19.–26. 4. 2023 (meritve)
10. Gregor Košir: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 12.–17. 9. 2023 (priprava eksperimenta)
11. Miha Mihovilović: KPH/JGU Mainz, Mainz, Nemčija, 8.–11. 9. 2023 (meritve)
12. Miha Mihovilović: JGU Mainz, Mainz, Nemčija, 29. 10.–1. 11. 2023 (meritve)
13. Marijan Nečemer: Elettra, Bazovica, Italija, 28. 6. 2023 (meritve)
14. Andreja Sestan Zavašnik: Max-Planck-Institut, Dusseldorf, Nemčija, 11.–15. 12. 2023 (meritve)
15. Matjaž Vencelj: INFN Legnaro, Padova, Italija, 25.–30. 5. 2023 (meritve)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Iztok Arčon*, znanstveni svetnik
2. doc. dr. Klemen Bučar
3. dr. Aleksandra Cvetinović
4. prof. dr. Dean Cvetko*, znanstveni svetnik
5. dr. Helena Fajfar
6. mag. Denis Glavič Cindro
7. dr. Darko Hanžel
8. prof. dr. Matjaž Kavčič
9. dr. Jasmina Kožar Logar
10. dr. Romana Krištof*
11. prof. dr. Matej Lipoglavšek
12. doc. dr. Sabina Markelj
13. doc. dr. Andrej Mihelič
14. doc. dr. Miha Mihovilovič
15. dr. Marjan Nečemer
16. **prof. dr. Primož Pelicon, znanstveni svetnik - vodja odseka**
17. doc. dr. Marko Petric
18. dr. Toni Petrovič
19. doc. dr. Paula Pongrac*
20. dr. Jurij Simčič
21. prof. dr. Simon Širca*, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
22. dr. Primož Vavpetič
23. doc. dr. Matjaž Vencelj
24. dr. Jelena Vesic
25. mag. Branko Vodenik
26. prof. dr. Katarina Vogel-Mikuš*, znanstveni svetnik
27. doc. dr. Benjamin Zorko
28. prof. dr. Matjaž Žitnik, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine

Podoktorski sodelavci

29. dr. Žiga Barba
30. dr. Boštjan Jenčič
31. dr. Eva Menart*
32. Esther Punzon Quijorna, PhD. in Physics, Universidad Autonoma de Madrid, Advanced Materials and Nanotech
33. dr. Andreja Šestan Zavašnik

Mlajši raziskovalci

34. Žiga Brenčič, mag. fiz.
35. Gregor Košir, mag. fiz.
36. Eva Lovšin, mag. fiz.
37. Ava Rajh, mag. fiz.
38. Mirjana Sepahyar Lorentzen, Msc., Srbija
39. Janez Turnšek, mag. fiz.

Strokovni sodelavci

40. Boštjan Črnič, mag. med. fiz.
41. *Polona Gerjol, dipl. inž. teh. var. (UN), odšla 20. 11. 2023*
42. dr. Mitja Kelemen
43. Klara Poiškruha, mag. med. fiz.
44. Petra Prem, prof. biol. in gosp.
45. Matevž Skobe, dipl. inž. el. (VS)
46. Klemen Žagar, dipl. inž. el. (UN)

Tehniški in administrativni sodelavci

47. Kristina Benko
48. Mojca Gantar
49. Sandi Gobec
50. Andrej Košiček, univ. dipl. fiz.
51. Mirko Ribič, kom. inž.
52. Rok Roš Opaškar

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

Domače

1. Acroni, Jesenice
2. Agencija za radioaktivne odpadke, Ljubljana
3. AMES, avtomatski merilni sistemi za okolje, d. o. o., Brezovica pri Ljubljani
4. BLAJ - Anton Blaj, d. o. o., Griže
5. Bolnišnica Sežana, Sežana
6. Calcit, d. o. o., Stahovica
7. Cosylab, d. d., Ljubljana
8. Domel, d. o. o., Železniki
9. EVT SISTEMI, d. o. o., Idrija

10. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani
11. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
12. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru
13. Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana
14. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
15. Instrumentation Technologies, d. d., Solkan
16. Kemijski inštitut Ljubljana
17. Klinični center, Ljubljana
18. Krka, tovarna zdravil, d. d., Novo mesto
19. MEDENS, d. o. o., Mozirje
20. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani
21. MEIS storitve za okolje, d. o. o., Mali Vrh pri Šmarju
22. Ministrstvo za finance, Carinska uprava Republike Slovenije, Generalni carinski urad, Ljubljana
23. Ministrstvo za finance, Finančna uprava Republike Slovenije, Generalni finančni urad, Ljubljana
24. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Ljubljana
25. Ministrstvo za notranje zadeve, Policija, Ljubljana
26. Ministrstvo za obrambo, Generalštab Slovenske vojske, Ljubljana
27. Ministrstvo za obrambo, Uprava Republike Slovenije za zaščito in sodelovanje, Ljubljana
28. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana
29. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, Ljubljana
30. Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, Urad Republike Slovenije za meroslovje, Ljubljana
31. Ministrstvo za zdravje, Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji, Ljubljana
32. Narodna galerija, Ljubljana
33. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Maribor
34. Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana
35. Narodni muzej Slovenije, Ljubljana
36. Nuklearna elektrarna Krško, Krško
37. Onkološki inštitut, Ljubljana
38. Papirnica Vevče, d. o. o., Ljubljana
39. Pikas, d. o. o., Tolmin
40. Pošta Slovenije, d. o. o., Maribor
41. Rudnik Žirovski vrh, Javno podjetje za zapiranje rudnika urana, d. o. o., Gorenja vas
42. Splošna bolnišnica Dr. Franca Derganca Nova Gorica, Šempeter pri Gorici
43. Splošna bolnišnica Novo mesto, Novo mesto
44. Store Steel, d. o. o., Štore
45. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana
46. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Ljubljana
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana
49. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana
50. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
51. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor
52. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica
53. Zavod za varstvo pri delu, d. d., Ljubljana

Tuje

1. Aix-Marseille Université – CNRS/PIIM Laboratory, Marseille, Francija
2. ATOMKI, Institut of Nuclear Research, Debrecen, Madžarska
3. AUTH, Aristotelio Panepistimio Thessalonikis, Thessaloniki, Grčija
4. BEV/PTP, Bundesamt fuer Eich- und Vermessungswesen, Physikalisch-Technischer Pruefdienst, Dunaj, Avstrija
5. BfS, Bundesamt fuer Strahlenschutz, Salzgitter, Nemčija
6. BOKU, Universitaet fuer Bodenkultur Wien, Dunaj, Avstrija
7. CEA, Commissariat a l' Energie Atomique, Francija
8. CIEMAT, Centro de investigaciones energeticas, medioambientales y tecnologicas, Madrid, Španija
9. CMI, Cesky Metrologicky Institut Brno, Brno, Češka republika
10. CSIC, Rocasolano, Madrid, Španija
11. DESY, HASYLAB, Hamburg, Nemčija
12. Die Leitseite der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen University of Technology), Nemčija
13. ENEA, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Rim, Italija
14. ENVINET, ENVINET a.s., Třebíč, Češka republika
15. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
16. Elettra, Sinchrotrone Trieste, Italija
17. EURADOS - European Radiation Dosimetry e. V., Braunschweig, Nemčija
18. Experimental Institute for Plant Nutrition, Gorica, Italija
19. FAIR – GSI, Darmstadt, Nemčija
20. Hasselt University, Diepenbeek, Belgija
21. IFIN-HH, Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara "Horia Hulubei", Măgurele, Romunija
22. Institut za fiziku, Beograd, Srbija

23. Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Nemčija
24. Institut für Kernphysik, Universität Mainz, Mainz, Nemčija
25. Institut für Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Jülich, Nemčija
26. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaska
27. International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
28. IRSN, Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire, Fontenay-aux-Roses, Francija
29. iThemba LABS, Cape Town, Južna Afrika
30. ITN, Instituto Tecnológico e Nuclear, Bobadela LRS, Portugalska
31. JRC, JRC -Joint Research Centre- European Commission, EC
32. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
33. Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, Nizozemska
34. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, ZDA
35. Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, Nemčija
36. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Nemčija
37. MIKES, Mittatekniikan Keskus, Espoo, Finska
38. MKEH, Magyar Kereskedelmi Engedelyezési Hivatal, Budimpešta, Madžarska
39. National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bukarešta, Romunija
40. NCBJ, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Poljska
41. NPL, NPL Management Limited, UK
42. NRPA, Norwegian Radiation Protection Authority, Norveška
43. Oddelek za fiziko, Univerza v Coimbr, Coimbra, Portugalska
44. Patenting Proizvodnja, d. o. o., Beograd, Srbija
45. Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, Švica
46. POLATOM, Institute of Atomic Energy POLATOM, Otwock, Poljska
47. PTB, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Nemčija
48. SCK • CEN, Studiecentrum Voor Kernenergie, Mol, Belgija
49. Synchrotron Soleil, Saint-Aubin, Francija
50. Synchrotron SLS Daresbury, Anglija
51. SMU, Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava-Karlova Ves, Slovaška
52. Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL), Stanford, ZDA
53. STUK, Sateilyturvakeskus, Helsinki, Finska
54. SURO, Statni ustav radiacni ochrany v.v.i., Praga, Češka republika
55. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zagreb, Hrvaska
56. TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara, Turčija
57. Technical University of Crete, Chania, Grčija
58. Tehnična univerza v Darmstadtu, Nemčija
59. Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Newport News, ZDA
60. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Španija
61. Université catholique de Louvain, Louvain, Belgija
62. Università degli Studi di Milano, Milano, Italija
63. University of Fribourg, Fribourg, Švica
64. Univerza J. Gutenberg, Mainz, Nemčija
65. Univerza v Exeterju, Cornwall, Anglija
66. Univerza v Göttingenu, Nemčija
67. Univerza v Konstanz, Nemčija
68. Univerza Loránd Eötvös, Budimpešta, Madžarska
69. Univerza v Madridu, Madrid, Španija
70. University Pierre and Marie Curie (UPMC), Pariz, Francija
71. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija

Osnovna usmeritev odseka obsega razvoj, pripravo in karakterizacijo trdih zaščitnih PVD-prevlek, raziskovanje pa poteka tudi na drugih področjih fizike tankih plasti in površin. Osnovne raziskave obsegajo študij fizikalno-kemijskih lastnosti različnih večkomponentnih, večplastnih in nanostrukturiranih prevlek. V okviru aplikativnih raziskav razvijamo prevleke za zaščito orodij pri nekaterih proizvodnih procesih za potrebe industrije.

Tudi v letu 2023 je bilo težišče delovanja odseka na področju trdih prevlek iz nitridov prehodnih kovin. Zaključili smo raziskavo mikrostrukturiranih, mehanskih in oksidacijskih lastnosti nanoplastne prevleke CrAlN. Posebnost te prevleke je bila, da je nanesena v industrijski napravi z uporabo trikotnih segmentnih tarč. Tako smo v teku ene dispozicije dobili prevleke z različnim atomskim razmerjem Cr:Al. V študiji smo na različne podlage (orodni jekli H11 in D2) nanесли nanoplastne prevleke (Cr,Al)N z različnimi sestavami. Testi oksidacije so pokazali, da so nanoplastne prevleke (Cr,Al)N z večjo vsebnostjo aluminija bistveno bolj odporne proti oksidaciji kot tiste z večjo vsebnostjo kroma. Ugotovili smo, da je oksidacijska plast, ki se oblikuje na prevleki z večjo vsebnostjo aluminija, sestavljena iz dvojnih plasti: zgornje plasti iz kromovega oksida in notranje mešane oksidacijske plasti (Cr,Al). Nasprotno je oksidacijska plast na prevleki z večjo vsebnostjo kroma sestavljena predvsem iz plasti Cr_2O_3 . Posebej smo se osredotočili na proces oksidacije, ki se dogaja na mestih rastnih defektov. Ugotovili smo, da so se prvi oksidacijski produkti na prekriti podlagi pojavili pri temperaturi, ki je bila veliko nižja od temperature za začetek oksidacije prevleke (Cr,Al)N. Ti produkti (železovi oksidi) so se oblikovali le na mestih tistih defektov, ki so segali skozi celotno debelino prevleke.

Sicer v manjši meri smo podobne raziskave izvedli tudi na nanoplastni prevleki (Cr,V)N, kjer je bil glavni poudarek na študiju triboloških procesov pri visoki temperaturi; delo je potekalo v sodelovanju z Inštitutom za kovinske materiale in tehnologije. S področja nitridnih prevlek je treba omeniti še sodelovanje z Univerzo v Trstu na temo obrabne in korozijske obstojnosti večplastnih prevlek CrN/Mo₂N in CrN/W₂N.

S tribološkimi eksperimenti smo proučevali obrabo prevleke TiAlN pri povišanih temperaturah do 700 °C v različnih atmosferah (zrak, N₂, CO₂). Pri tem smo se osredotočili na koeficient trenja, obrabo na kroglici in disku ter mikrotrdoto prevleke na disku pred in po izvedenih preizkusih pri povišanih temperaturah. Tribološke raziskave smo opravljali tudi z uporabo tekočega CO₂ kot hladilnega sredstva v laboratorijskem okolju na tribometru. V sodelovanju z Univerzo v Novem Sadu (Srbija) smo raziskovali tudi temperaturne pogoje v kontaktu in ožji okolici. Preverili smo še možnosti naknadne obdelave in odstranjevanja prevlek s pomočjo laserskega žarka.

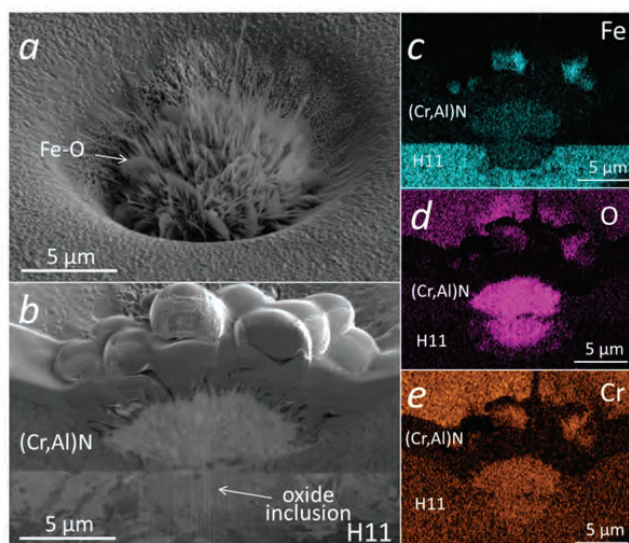
Ena od pomembnih novih smeri raziskav pri nas, pa tudi širše v svetu, so tanke plasti visokoentropijskih zlitin in njihovih nitridov. Z uporabo doma zasnovanega sistema za nanašanje smo nanесли naslednje prevleke: TiVCrZrNbMo, (TiVCrZrNbMo)N, TiVCrHfTaW, (TiVCrHfTaW)N, ZrNbMoHfTaW in (ZrNbMoHfTaW)N. Temeljito smo ovrednotili njihove lastnosti z uporabo naslednjih tehnik: vrstična elektronska mikroskopija (SEM), energijska disperzijska spektroskopija (EDS), nanoindentacija, profilometrija, rentgenska difrakcija (XRD) in mikroskopija na atomsko silo (AFM). S tem smo pridobili informacije o mikrostrukturi, trdoti, površinski topografiji in kemijski sestavi prevlek. Ugotovili smo, kako različni parametri procesa nanašanja vplivajo na lastnosti prevlek in tako prispevali k boljšemu razumevanju ter nadaljnji optimizaciji visokoentropijskih zlitin in njihovih nitridov za uporabo v različnih aplikacijah.

V manjši meri smo se ukvarjali tudi z oksidnimi plastmi. V sodelovanju z drugimi odseki na inštitutu smo študirali, kako žarjenje na zraku vpliva na mikrostrukturo in mehanske lastnosti debelih plasti 0,9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0,1PbTiO₃, pripravljenih z nanašanjem iz aerosola. Presečna elektronska mikroskopija je razkrila manjše, vendar zaznavne spremembe, kot so redistribucija por in rast zrn po žarjenju pri 500 °C. Prav tako smo pokazali, da je toplotna obdelava močno vplivala na nerjavno jekleno podlago. Trdota in Youngov modul plasti sta se povečala po žarjenju. Oksidne plasti so tudi predmet sodelovanja z Biotehniško

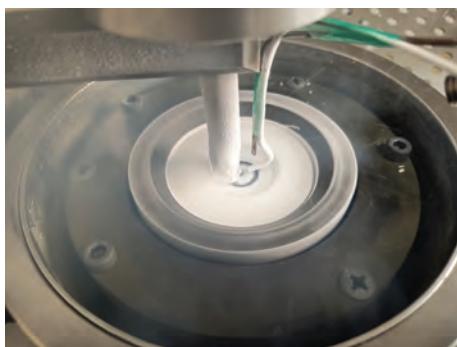


Vodja:

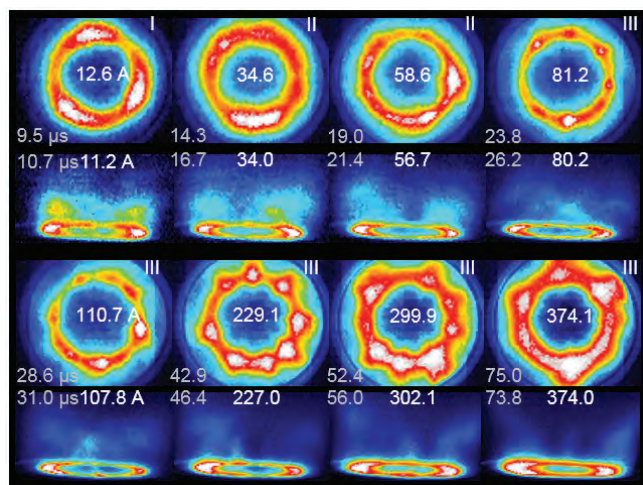
prof. dr. Miha Čekada



Slika 1: SEM-posnetek (a) in SEM-posnetek prečnega prereza FIB (b) luknjice v nanoplastni prevleki (Cr,Al)N, naneseni na podlago iz orodnega jekla H11 po kratkotrajni oksidaciji pri 800 °C. Ustrezne karte elementov EDS so predstavljene v (c-e).



Slika 2: Tribološki test ob hkratnem dovajanju tekočega CO₂.



Slika 3: Z naraščanjem toka HiPIMS plazma prehaja skozi značilne faze, označene z I, II in III. Na sliki so prikazani karakteristični vzorci plazme v posameznih fazah, posneti z visokohitrostno kamero iz frontalnega in stranskega pogleda.

fakulteto Univerze v Ljubljani, kjer smo analizirali nanokompozit PVDF-HFP/PVP/MoO₃, ki je pokazal dobre lastnosti za uporabo na površinah, ki so v stiku s hrano. Omenimo še nanašanje tankih plasti titana, dopiranih z iridijem za namene elektrokatalize (v sodelovanju z Odsekom za nanostrukturne materiale) ter nanašanje zelo tankih otočkastih platin za fotokatalizo (z Odsekom za sodobne materiale).

V preteklem letu smo izvedli serijo eksperimentov, s katerimi smo proučevali vpliv različnih parametrov na dinamiko ionizacijskih con v magnetronskega nanašanja pri visoki vršni moči (HiPIMS). Raziskave smo opravili z visokohitrostno kamero, s katero smo za posamezne pulze analizirali obnašanje con pri različnih tlakih argona (0,25–2 Pa) in razelektritvene tokove (10–400 A). Ugotovili smo, da z naraščanjem razelektritvenega toka plazma prehaja skozi tri značilne faze. V fazi I, ki traja od začetka pulza pa do toka približno 25 A, je dinamika ionizacijskih con podobna dinamiki v enosmernih razelektritvah, cone imajo podolgovato trikotno obliko in se vrtijo v smeri $-E \times B$ s hitrostjo 4–15 km/s. Hitrost je odvisna od naraščanja toka, tlaka argona in števila ionizacijskih con. V fazi II, ki je prisotna med približno 25 A in 50 A, se plazma obnaša kaotično, pri čemer plazma tvori neperiodične vzorce, cone pa se vrtijo v smereh $-E \times B$ ali $E \times B$. Pri tokovih nad 50 A plazma preide v fazo III. Nastajati začnejo periodični vzorci, cone imajo značilno trikotno obliko in se vrtijo v smeri $E \times B$ s hitrostjo 6–9 km/s. Hitrost con je odvisna le od tlaka, medtem ko tok razelektritve in število con ne vplivata na hitrost.

Odsek aktivno sodeluje tudi pri fuzijskih raziskavah. V preteklem letu smo se osredotočili na analizo z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS) različnih fuzijsko relevantnih materialov. V sodelovanju s sodelavci z Odseka za fiziko trdne snovi in raziskovalci z Instituta za nuklearne znanosti Vinča (Srbija) raziskujemo magnetne lastnosti večplastnih tankih plasti. Za večplastno strukturo Si/Ni/Si z debelino niklja večjo od 15 nm smo opazili močno pravokotno magnetno anizotropijo, ki se običajno pojavlja v precej tanjših plasteh. Ta večplastna struktura bi lahko odprla nove možnosti za uporabo v magnetnih zapisovalnih medijih, senzorjih, spintroniki in drugih aplikacijah.

Nadaljevali smo tudi z raziskovanjem fizikalnih procesov razprševanja. Za prehodne kovine v skupinah 4–6 in 11 ter izbrane lahke elemente smo s programom SRIM izračunali energijske porazdelitve razpršenih atomov.

Pri tem smo uporabili optimizirane vrednosti površinskih vezavnih energij, ki smo jih določili v preteklem letu. Simulacije SRIM smo primerjali z analitičnimi enačbami energijskih porazdelitev, ki sta jih razvila Sigmund in Thompson, ter z eksperimentalnimi podatki iz literature. Rezultati SRIM-simulacij energijskih porazdelitev so bili realistični za prehodne kovine, za elemente, lažje od Si, pa niso bile pravilne. Vse energijske porazdelitve imajo nizkoenergijski vrh blizu polovice površinske vezavne energije in visokoenergijski rep, ki se zmanjšuje približno kot E^{-2} . V karakteristikah energijskih porazdelitev, kot sta položaj vrha in polovica širine vrha (FWHM), smo opazili trende glede na atomsko število, energijo ionov in skupino periodnega sistema, v kateri se nahaja element. Za prehodne kovine smo predlagali empirično enačbo za oceno povprečne energije na podlagi razpršitvenega koeficienta – povprečne energije razpršenih atomov so obratno sorazmerne z razpršitvenim koeficientom, pri čemer prehodne kovine kažejo najvišje povprečne energije, elementi v skupini 11 pa najnižje.

Naredili smo tudi meritve razpršitvenega koeficienta za Ti, V, Cr in Cu ter jih primerjali s simuliranimi vrednostmi. Odstopanja med simulacijami SRIM in eksperimentalnimi razpršitvenimi koeficienti so bila najbolj izrazita pri nižji energiji argonovih ionov. Medtem ko so se meritve za Cu in Cr ujemale s simulacijami nad 100 eV, so bila odstopanja za V in Ti izrazitejša. Izmerili smo tudi diferencialne razpršitvene koeficiente za magnetronske tarče Al, Ti, V, Cr, Cu, Nb, Mo, Hf in Ta. Razpršitveni koeficient je za vse izmerjene elemente največji pri 40–50° in se zmanjšuje z emisijskim kotom.

Odsek intenzivno sodeluje s slovensko industrijo. Podjetja se na nas obračajo v primeru raznih izzivov, ki so povezani s površinami in tankimi plastmi. Bodisi gre za razvojne naloge, naprednejšo analitiko ali pa iskanje vzrokov za težave. V preteklem letu smo takšne analize delali za podjetja: Cetis, Kovinos, Krka, Le-tehnika, Phos, Polident, Teroxal in Trelleborg. Za podjetja nudimo tudi storitve nanašanja trdih prevlek na njihova orodja, kar izvajamo v okviru Centra za trde prevleke, ki deluje v okviru odseka. Na leto imamo več kot sto partnerjev, kar vključuje tako velika podjetja (npr. SIJ, Kolektor, Mahle) kot tudi množico malih podjetij.

Najpomembnejši objavi v preteklem letu

1. N. Mahne, M. Čekada, M. Panjan, Energy distribution of sputtered atoms Explored by SRIM (Stopping and Range of Mons in matter) simulations, *Coatings*, 2023, **13**, 8, 1448-1-1448-30, DOI: 10.3390/coatings13081448
2. A. Drnovšek, D. Kukuruzović, P. Terek, A. Miletić, M. Čekada, M. Panjan, P. Panjan, Microstructural, mechanical and oxidation resistance of nanolayer sputter-deposited CrAlN hard coatings, *Coatings*, 2023, **13**, 12, 2096-1-2096-20, DOI: 10.3390/coatings13122096

MEDNARODNI PROJEKT

1. OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
dr. Matjaž Panjan

PROGRAM

1. Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin
prof. dr. Miha Čekada

PROJEKTI

1. Piezofotonski kompoziti na osnovi dvodimenzionalnih materialov za ultrazvočno stimulacijo v bioloških sistemih (2D-UltraS)
dr. Aljaž Drnovšek
2. Samoorganizacija plazme v razelektritvah magnetronskega naprševanja
dr. Matjaž Panjan

3. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem
dr. Matjaž Panjan
4. Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
prof. dr. Miha Čekada
5. Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
prof. dr. Miha Čekada
6. Nanostrukturne prevleke visokoentropijskih zlitin za uporabo v orodjarstvu
dr. Aljaž Drnovšek
7. Nanos trdih prevlek
prof. dr. Miha Čekada

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Nanostrukturne prevleke visokoentropijskih zlitin za uporabo v orodjarstvu
Phos BB, d. o. o.
Kovinos, d. o. o.
dr. Aljaž Drnovšek

OBISKI

1. Vladimir Terek, Zoran Bobić, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 16. 1.–16. 2. 2023
2. dr. Marin Tadić, Institut za nuklearne znanosti Vinča, Beograd, Srbija, 12.–26. 3. 2023
3. dr. Marin Tadić, Institut za nuklearne znanosti Vinča, Beograd, Srbija, 17.–30. 6. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. dr. Miha Čekada: Trde zaščitne prevleke: med znanostjo in industrijo
2. dr. Aljaž Drnovšek: Deposition of HEA thin films with PVD methods

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. prof. dr. Miha Čekada, Industrijski forum IRT, 12.–13. 6. 2023, Portorož

2. prof. dr. Miha Čekada, dr. Aljaž Drnovšek, Matej Drobnič, Žan Gostenčnik, dr. Matjaž Panjan, 28th International Scientific Meeting on Vacuum Science and Technique, Gozd Martuljek, 10.–12. 5. 2023 (3)
3. dr. Aljaž Drnovšek, AVS 69th International Symposium & Exhibition, 5.–10. 11. 2023, Portland, ZDA (1)
4. dr. Aljaž Drnovšek, International Conference on Thin Films, Burgos, Španija, 26.–29. 9. 2023 (1)
5. Žan Gostenčnik, 15. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, 31. 5.–2. 6. 2023 (2)
6. prof. dr. Miha Čekada, 49th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, ZDA, 21.–26. 5. 2023 (1)
7. dr. Matjaž Panjan, Platinium, Antibes, Francija, 11.–15. 9. 2023 (1)
8. dr. Matjaž Panjan, 28th International Conference on Materials and Technology, Portorož, 11.–13. 10. 2023 (1)
9. dr. Matjaž Panjan, 65th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, Denver, ZDA, 30. 10.–3. 11. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Miha Čekada, znanstveni svetnik - vodja odseka**
2. dr. Aljaž Drnovšek
3. dr. Matjaž Panjan

Mlajši raziskovalci

4. Matej Drobnič, mag. inž. str.
5. Žan Gostenčnik, mag. kem.
6. *Nastja Mahne, mag. med. fiz., odšla 1. 10. 2023*

Strokovni sodelavci

7. Uroš Stele, dipl. inž. fiz.

Tehniški in administrativni sodelavci

8. Jožko Fišer
9. Damjan Matelič
10. Andrej Mohar
11. Tomaž Sirnik
12. Tadej Stele

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. CemeCon AG, Würselen, Nemčija
2. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
3. Institut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
4. KCS Europe GmbH, Monschau, Nemčija
5. Kemijski inštitut, Ljubljana
6. Kolektor Sikom, d. o. o., Idrija
7. Kovinos, d. o. o., Horjul
8. Max Planck Institute of Plasma Physics, Garching, Nemčija
9. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
10. Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
11. PHOS, d. o. o., Parecag
12. Tecos, razvojni center orodjarstva Slovenije, Celje, Slovenija
13. University of California, Berkeley, ZDA
14. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor
15. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
16. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehniških nauka, Novi Sad, Srbija

ODSEK ZA TEHNOLOGIJO POVRŠIN

F-4

Odsek za tehnologijo površin opravlja raziskave na interdisciplinarnem področju načrtovanja površinskih lastnosti različnih materialov. Ključna znanstvena področja so raziskave površin in tankih plasti z metodami XPS, AES, SIMS in AFM, raziskave plinskih razelektritev in neravnovesne plinske plazme, raziskave interakcije plazemskih delcev z organskimi in anorganskimi materiali, razvoj plazemskih postopkov za sintezo in modifikacijo nanomaterialov, razvoj postopkov za uporabo plazemskih tehnologij v kmetijstvu, biotehnologiji in medicini, interakcija plinske plazme s površinami fuzijskih reaktorjev ter raziskave in razvoj postopkov za uporabo plinske plazme v industriji.



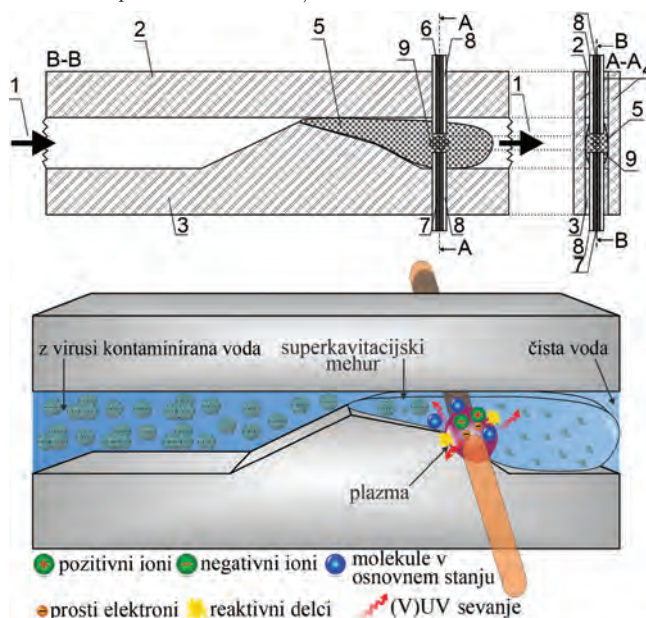
Vodja:

prof. dr. Alenka Vesel

Poglavitna dejavnost našega odseka ostaja obdelava površin trdnih materialov s termodinamsko neravnovesno plinsko plazmo. Prosti elektroni v naših plazmah imajo temperaturo nekaj 10.000 K, tako da izdatno disociirajo plinske molekule, kar vodi k nastanku kemijsko zelo reaktivnih radikalov. Radikali se običajno že pri sobni temperaturi obdelovancev kemijsko vežejo na površine materialov in s tem spremenijo njihove funkcionalne lastnosti. Molekularni radikali v plinski fazi so stabilni pri nizkem tlaku, z večanjem tlaka pa se lahko združujejo v stabilne kemijsko nereaktivne molekule. Zaradi izgube radikalov pri povišanem tlaku v industriji za obdelavo površin materialov uporabljajo plazemske reaktorje, ki delujejo pri nizkih tlakih, značilno med 0,1 in 10 mbar. Plinsko plazmo pa želimo včasih uporabiti tudi za obdelavo materialov pri navadnem zračnem tlaku, torej okoli 1000 mbar. To še posebej velja za biološke materiale, ki značilno ne prenesejo nizkega tlaka. Vzdrževanje neravnovesne plazme z veliko stopnjo disociiranosti H_2O molekul za obdelavo vode, ki vsebuje biološki material, pri sobni temperaturi je tako znanstveni kot tehnološki izziv, s katerim smo se ukvarjali v tem letu.

Vzdrževanje plinske plazme v tekočini po definiciji ni mogoče, lahko pa v tekočini ustvarimo mehurčke, v katerih vzbujamo plazmo. Mehurčki se zaradi vzgona hitro pomikajo proti površini tekoče vode, poleg tega pa so običajno premajhni, da bi vanje namestili elektrode za vzbujanje plazme. Težavo smo rešili tako, da smo v tekoči vodi ustvarili velik stabilen mehur s hidrodinamsko kavitacijo. Vodo smo skozi primerno oblikovano šobo potiskali iz posode z nekoliko povečanim tlakom v posodo pri navadnem tlaku. Za šobo v smeri pretoka tekoče vode je v omejenem področju geometrijskih oblik šobe nastal kavitacijski mehur prostornine več cm^3 , znotraj katerega je bil nasičen parni tlak vodne pare pri sobni temperaturi, torej okoli 30 mbar. Pri tem tlaku smo zlahka vzdrževali stabilno plinsko plazmo s tlečo enosmerno razelektritvijo. Originalno rešitev smo zaščitili s patentno prijavo, novembra 2023 pa je ameriški urad podelil patent z oznako US11807555 (B2). Izvedbeni primer je prikazan na sliki 1. Puščici (1) označujeta pretok vode med dvema ploščama (2, 3). V predelu po zožitvi v smeri pretoka vode se pojavi stabilni kavitacijski mehur (5), v katerega smo namestili dve elektrodi (6, 7). Elektrodi smo prekrili s tanko izolacijo (8), s čimer smo preprečili galvanjski stik med vodo in elektrodama. Ko smo med elektrodi pritisnili električno napetost, smo v delu volumna v kavitacijskem mehurju (5) vzdrževali plinsko plazmo pri nasičenem parnem tlaku vodne pare in s tem visoko koncentracijo radikalov OH v plinski fazi. Izguba radikalov v plinski fazi narašča s kvadratom tlaka, tako da je v kavitacijskem mehurju tisočkrat manjša, kot bi bila v navadnem mehurčku vodne pare v tekoči vodi. Konfiguracija na sliki 1 pa ima še eno bistveno prednost, in sicer sprotno dovajanje tekoče vode v volumen med mehurjem (5) in ohišjem (2). Znano je, da je topnost radikalov OH v vodi omejena, hkrati pri medsebojnem trku radikali OH v vodi z zelo veliko verjetnostjo tvorijo vodikov peroksid. Sprotno dovajanje sveže vode torej omogoča optimalno koncentracijo radikalov OH v tekoči vodi.

Znanstvene vidike inovativne tehnologije za dovajanje velike količine radikalov OH v tekočo vodo smo opisali v članku, ki je bil objavljen v ugledni reviji (objava 1). Radikali OH so še posebej primerni za inaktivacijo virusov, saj ireverzibilno reagirajo s katerikoli organskim materialom,



Slika 1: (zgoraj) Izvedbeni primer, ki omogoča vzbujanje plinske plazme pri tlaku okoli 30 mbar v tekoči vodi, ki je pri tlaku 1 bar ali več, (spodaj) princip delovanja plazemske kavitacije za inaktivacijo virusov.

Razvili in patentirali smo postopek za hitro inaktivacijo virusov v vodi.

kot je ilustrirano na sliki 1. Biološko onesnaženje vode postaja vse večji problem tudi v razvitem svetu, tako da mnoge skupine po svetu razvijajo metode za inaktivacijo mikroorganizmov v vodi. Idealna metoda bi delovala pri sobni ali še nižji temperaturi, ne bi smela temeljiti na uporabi kemikalij, bi trošila malo energije in ne bi spremenila siceršnjih lastnosti vode, kot sta naraven pH in ustrezna koncentracija mineralov. Metoda, ki je ilustrirana na sliki 1, se močno približa idealnosti, saj v vodo dovajamo zgolj radikale OH, ki hitro reagirajo z organskim materialom,

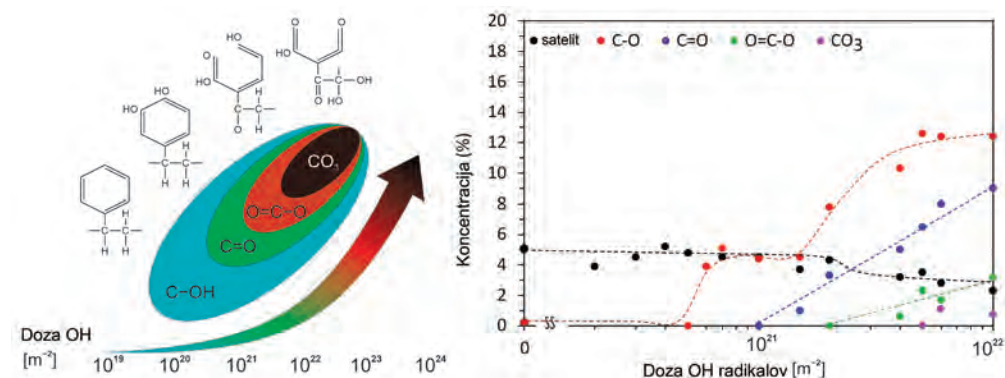


Slika 2: Zlati znak IJS je prejela podoktorska sodelavka Arijana Filipič.

nereagirani radikali pa razpadejo z razpolovno dobo, ki je krepko manjša od sekunde. Nekaj radikalov OH (posebej pri preveliki koncentraciji v tekoči vodi) sicer tvori vodikov peroksid, ki pa prav tako počasi reagira z organskimi nečistočami v vodi. V znanstvenem članku (objava 1) smo zelo prepričljivo pokazali, da radikali OH inaktivirajo izbrano vrsto virusa, še preden postane koncentracija vodikovega peroksida prevelika. Prva avtorica tega članka je prejela zlati znak IJS za izjemno odmevno delo na področju plazemske inaktivacije virusov. Na sliki 2 prikazujemo nagrajenko, levo je vodja programske skupine (Miran Mozetič), desno pa vodja skupine, ki je na odseku pristojna za raziskave plazemske inaktivacije virusov (Gregor Primc).

Izredno velik oksidacijski potencial radikalov OH izkoriščamo tudi za selektivno funkcionalizacijo sintetičnih polimerov s hidroksilnimi skupinami. Podrobno smo proučili kinetiko funkcionalizacije polistirena med obdelavo z radikali OH. Vir radikalov je bila plinska plazma, ki smo jo vzbujali v odročni plazmi vodne pare pri nizkem tlaku. Za merjenje gostote radikalov smo uporabili posebej prilagojen senzor, ki ga izdeluje naše odcepljeno podjetje Plasmadis Ltd. Na sliki 3 prikazujemo koncentracije

različnih funkcionalnih skupin v odvisnosti od prejete doze radikalov OH. Že pri majhni dozi okoli $6 \times 10^{19} \text{ m}^{-2}$ opazimo plato na krivulji, ki ustreza površinskim hidroksilnim skupinam. V članku (objava 2) smo prikazali model, ki pojasnjuje hitro stabilizacijo koncentracije hidroksilnih funkcionalnih skupin na površini polistirena pri majhnih dozah. Radikali OH reagirajo z vodikovim atomom, ki je vezan na ogljik na površini polistirena, tako da nastane molekula vode, ki se hitro desorbira, saj je tlak v reakcijski posodi krepko nižji od nasičenega parnega tlaka vodne pare pri sobni temperaturi. Prosto vez zapolni naslednji radikal OH, ki doseže površino obdelovanca. Ko je ta nasičena s skupinami OH, nadaljnja obdelava vodi k odprtju aromatskega obroča in pri večjih dozah radikalov tudi k cepitvi vezi v polimerni verigi. Slednja procesa vodita najprej k nastanku karbonskih skupin, pri velikih dozah pa tudi k nastanku funkcionalnih skupin z več kot enim kisikovim atomom, ki je vezan na ogljik.



Slika 3: Kinetika nastanka kisikovih funkcionalnih skupin na površini polistirena med obdelavo z radikali OH (objava 2).



Slika 4: Shema sistema za določitev koeficienta za pretvorbo atomov dušika v amonijak (levo) in reakcijski tulci (desno) (objava 3).

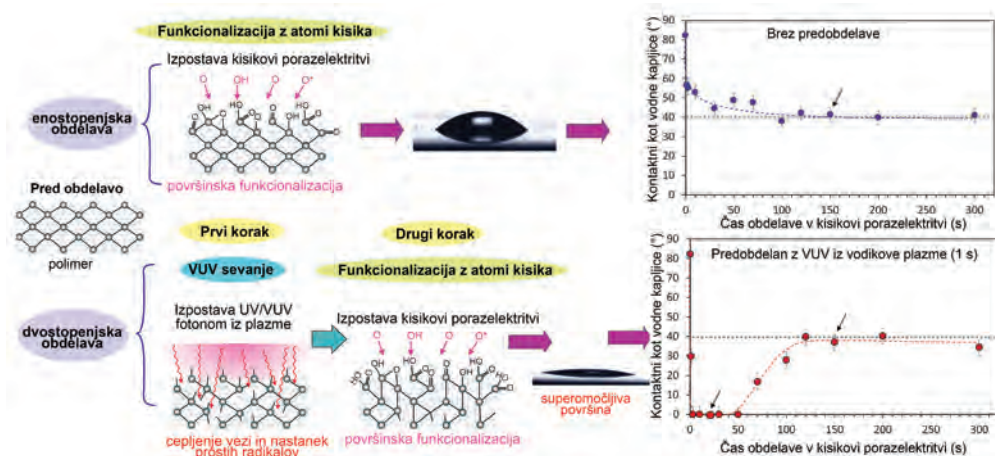
Radikali OH imajo tudi pomembno vlogo pri pretvorbi plinov, saj kemijsko reagirajo z lahкими ogljikovodiki in tvorijo alkohole. Še pomembnejša je pretvorba dušika in vodika v amonijak. Že stoletje se na industrijski ravni uporablja Haber-Boschev proces, pri katerem plinsko mešanico segrejejo in pri visokem tlaku na površini katalizatorja nastaja amonijak. Alternativa temu klasičnemu procesu je disociacija N_2 in H_2 s plinsko plazmo in vezava atomov v molekule NH_3 . Množica raziskovalnih skupin se ukvarja s plazemsko sintezo amonijaka in uporabo različnih materialov kot katalizatorjev za površinsko reakcijo. Površinska sinteza amonijaka pa ni edini način vezave dušikovih atomov, ampak na površini

poteka tudi heterogena rekombinacija dušikovih atomov v molekule N_2 . Spretno zasnovan eksperiment je omogočil določitev koeficientov za pretvorbo atomov dušika v molekule amonijaka. V reakcijsko posodo smo dovajali atomarni dušik in vodik, ki smo ju sintetizirali v ločenih plinskih plazmah obeh plinov z mikrovalovno razelektritvijo v surfatronskega načina delovanja. Ugotovili smo, da se do polovice atomov dušika dejansko veže v amonijak, ki po sintezi ne razpade, saj v reakcijski posodi nimamo plinske plazme, ki sicer z veliko verjetnostjo povzroči disociacijo amonijaka. Raziskave niso pomembne le za razvoj majhnih reaktorjev za sintezo amonijaka, ampak tudi za določitev stopnje pretvorbe dušika v amonijak v bodočih fuzijskih reaktorjih. Nekateri deli fuzijskih reaktorjev so izpostavljeni velikim tokovom energetskih vodikovih ionov, zaradi česar je treba plazmo v bližini površine sprti hladiti, kar najlažje dosežemo z vpihavanjem dušika. Žal pa se del dušika spremeni v amonijak, kar škodljivo vpliva na črpalke za črpanje fuzijskih reaktorjev. Znani koeficienti, o katerih smo poročali v članku (objava 3), bodo omogočili optimizacijo hlajenja vroče plazme v bodočih fuzijskih reaktorjih.

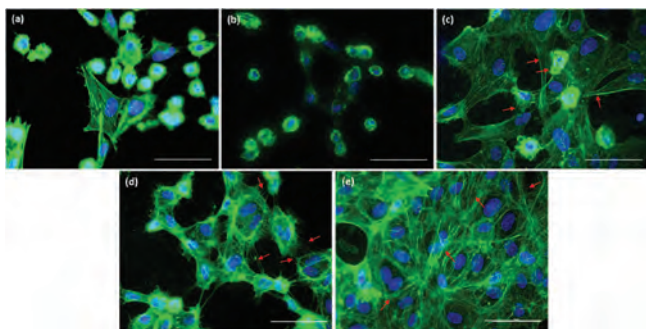
Hidroksilne površinske skupine na površini polimerov omogočajo precejšnjo omočljivost, vendar pa za doseg super omočljivosti ne zadoščajo. Super omočljivost je pogosto definirana z nemerljivo majhnim kotom vodne kapljice, ki jo nanesemo na površino obdelovanca, saj se voda razleže po zelo veliki površini zaradi kapilarnega vleka, ki je posledica nanostrukturiranosti površine in nasičenosti z zelo polarnimi skupinami, kot so na primer karboksilne. Takšno stanje površine polimera je pomembno za odličen oprijem vodotopne prevleke. Raziskali smo metode za nanos tanke plasti vodotopnih polisaharidov na površino katetrov iz polivinilklorida. Polimerov, ki vsebujejo halogene atome, ni mogoče močno hidrofilizirati z uporabo radikalov OH ali O, ker je vezavna energija med halogenim in ogljikovim atomom prevelika. Obdelava z obema radikaloma vodi k trganju vezi v polimerni verigi, ne pa substituciji klora s kisikom. Da bi omogočili super omočljivost polivinilklorida, smo uporabili metodo, ki smo jo pred leti razvili in patentirali za teflon. Vzorce smo najprej kratkotrajno obdelali s plazmo, ki smo jo vzbujali v vodiku, potem pa s kisikovimi atomi. Vodikova plazma je zelo močan vir vakuumске ultravijolične svetlobe z energijo fotonov, ki je večja od vezavne energije med klorom in ogljikom v polimeru. Zaradi tega fotoni cepijo C-Cl vezi v tanki površinski plasti polimera, atomarni vodik pa zasede proste vezi. Obdelava z vodikovo plazmo torej omogoča substitucijo klora v površinski plasti polimera z vodikom. V naslednjem koraku smo izpostavili modificiran polimer kisikovim atomom in dosegli super omočljivost. Postopek je podrobno opisan v znanstvenem članku (objava 4). Na sliki 5 prikazujemo kontaktni kot vodne kapljice na površini polimera med izpostavo kisikovim atomom. Najmanjši dosegljiv kot je okoli 40° , o čemer so poročali tudi drugi avtorji. Na isti sliki prikazujemo tudi kontaktni kot vodne kapljice na površini polivinilklorida, ki smo ga pred uporabo kisikovih atomov izpostavili vodikovi plazmi za eno sekundo. Opazimo super omočljivost (nemerljivo majhen kot vodne kapljice), ki vztraja do časa obdelave s kisikovimi atomi skoraj minuto. Dolgotrajna obdelava s kisikovimi atomi pa povzroči jedkanje površinske plasti polimera in s tem izgubo odlične hidrofilnosti, saj je kontaktni kot po več kot 2 minutah domala enak, kot če bi polimer obdelali samo s kisikovimi atomi.

Plazemski kisikovi radikali niso pomembni samo za funkcionalizacijo in izboljšanje omočljivosti površin, ampak povzročajo tudi nanostrukturiranost in rast oksidnih plasti. Kombinacija nizkotlačne plinske plazme, hidrotermalne obdelave ali elektrokemijske anodizacije omogoča oblikovanje biomimetičnih površin, za katere se je izkazalo, da imajo selektiven biološki odziv. Pokazali smo, da kombinacija obdelave s plinsko plazmo in hidrotermalne tehnike

Razvili smo metodo za doseg super omočljivosti polivinilklorida.



Slika 5: (levo) Shematični prikaz delovanja metode za doseganje superhidrofilnosti površine in (desno) razvoj omočljivosti površine polivinilklorida v odvisnosti od časa obdelave z atomarnim kisikom. Zgornji graf prikazuje omočljivost po obdelavi samo s kisikovimi atomi, spodnji graf pa po obdelavi z vodikovo plazmo in kisikovimi atomi.

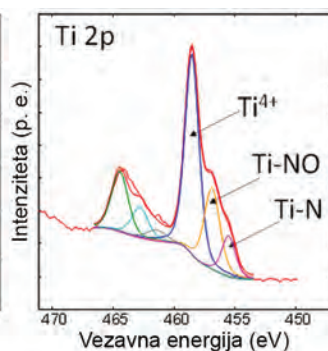
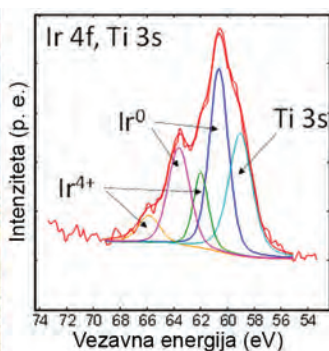
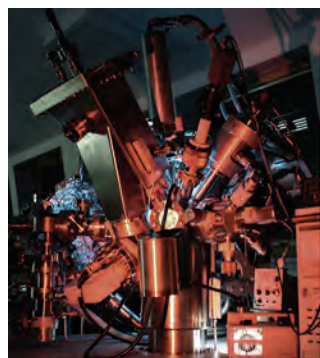


Slika 6: HCAEC na površini (a) neobdelanega Ti6Al4V, (b) Ti6Al4V + P, (c) HT, (d) HT + P in (e) P + HT, določena z imunofluorescentno mikroskopijo. F-aktin je prikazan zeleno (FITC-falloidin). Jedra so vizualizirana z DAPI (modra barva). Skala je 25 μm . Oznaka P pomeni plazemsko obdelan, oznaka HT pa obdelan s hidrotermalno tehniko.

znatno poveča proliferacijo endotelijskih celic človeške koronarne arterije (HCAEC – ang. *Human Coronary Artery Endothelial Cells*), pri čemer se zdi, da se celice močno medsebojno povežejo s tako imenovanimi tunnelskimi nanocevkami (TNT), predstavljenimi na sliki 6 (zeleno). TNT so membranske nanocevkke, ki omogočajo neposredno povezovanje sosednjih celic in tako omogočajo medcelično komunikacijo. TNT vsebujejo aktinske filamente, ki začnejo rasti kot filopodiji (slika 6). Nasprotno pa smo za arterijske gladke mišične celice (HCASMC – ang. *Primary Coronary Artery Smooth Muscle Cells*) opazili znatno redukcijo proliferacije v primeru plazemsko modificiranih vzorcev. Ti znanstveni rezultati, ki so bili objavljeni v članku (objava 5), dajejo veliko upov za razvoj biomimetičnih površin vaskularnih vsadkov, kjer je mogoče površinsko topografijo in kemijo dobro prilagoditi za doseganje specifičnega biološkega odziva, ki je pomemben za preprečevanje restenoz (nenadzorovane proliferacije gladkih mišičnih celic) in hkrati izboljšanje endotelizacije.

Poleg uporabe plazme za biomedicinske aplikacije pa se skupina ukvarja tudi z uporabo plazme v kmetijstvu. V letu 2023 smo zaključili projekt CRP: *Možnost izboljšanja produktivnosti in zmanjšanja odvisnosti od uporabe kemičnih fungicidov v kmetijstvu z uporabo plinske plazme* v sodelovanju s Kmetijskim inštitutom Slovenije in podjetjem Interkorn. Najpomembnejši rezultat projekta je bil razvit pristop nizkotlačne plazme za i.) odstranjevanje toksinov s površine semen, zlasti koruze in pšenice, ii.) pristop za zmanjšanje okužb borovnic z *Drosophila suzukii* in iii.) sistematično analizo biokemije, morfologije in fiziologije semen, kar smo objavili v znanstvenem članku (objava 6), kjer smo opazili razlike v obdelavi s plazmo na različnih sortah pšenice. V članku (objava 6) smo sicer poročali o tem, da plazemska obdelava semen navadne ajde ne spremeni možnosti navzemanja cinka, tako da ostane vsebnost cinka v kalčkih po plazemski obdelavi semen in namakanju v vodni raztopini cinkovega klorida nespremenjena. Ugotovili smo, da je plazemska obdelava semen navadne ajde povzročila znižanje koncentracije Zn v poganjkih kalčkov. Prednosti obdelave s hladno plazmo je treba preizkusiti v nadaljnjih študijah, kjer bo morebiti treba optimizirati čas namakanja zrn za proizvodnjo kalčkov, obogatenih z Zn. Še vedno pa je potrebna nadaljnja optimizacija uporabe plinske plazme v kmetijstvu, za zdaj se zdi najbolj perspektiven pristop pri odstranjevanju toksinov. S plazemsko razgradnjo toksinov smo se sicer ukvarjali v okviru precej večjih projektov, kot je zaključeni projekt CRP, in vložili več patentnih prijav. Slovenski urad je enega od naših patentov na temo razgradnje toksinov s plinsko plazmo objavil kot metodo in napravo za obdelavo kmetijskih proizvodov. V tem patentu smo pokazali, da že kratkotrajna obdelava semen s plinsko plazmo, ki deluje v omejenem obsegu parametrov, zmanjša koncentracijo toksinov pod detekcijsko mejo analize tehnike.

Na našem odseku imamo sodobne metode za analizo površin in tankih plasti, kot so rentgenska fotoelektronska spektroskopija – XPS, masna spektrometrija sekundarnih ionov – ToF-SIMS, spektroskopija Augerjevih elektronov – AES, mikroskopija na atomsko silo – AFM, s katerimi lahko natančno določimo kemično sestavo, molekularno strukturo površin, oksidacijska stanja elementov, identificiramo različne spojine in elektronske lastnosti ter analiziramo morfologijo površin na ravni nanometra. S pomočjo ionskega jedkanja lahko kontrolirano odstranimo površinske plasti ter izmerimo XPS in SIMS globinske profile kemične sestave na področju pod površino in v tankoplastnih strukturah. Naše analize pomagajo pri razumevanju pojavov na različnih področjih, kot so napredne obdelave površin, kataliza, korozija, nanomateriali, trde prevleke, fotovoltaične plasti, elementi za mikroelektroniko, tribologija, biološki materiali, baterije ...



Slika 7: (levo) Spektrometer XPS, ki omogoča identifikacijo kemijskih vezi, in primeri visokoločljivih spektrov XPS iridija Ir 4f (sredinska slika) in titana Ti 2p (desno) iz TiO_xN_y -Ir katalizatorja, ki kažejo oksidacijska stanja Ir(0), Ir(4+), Ti(4+), ter kemične vezi Ti-NO in Ti-N.

Naše analizne metode so dostopne za analizo podporo drugim odsekom našega instituta, drugim slovenskim raziskovalnim in akademskim organizacijam ter slovenskim industrijskim partnerjem. Tako smo med drugim v sodelovanju s Kemijskim inštitutom in drugimi raziskovalnimi skupinami podrobno raziskali površine katalitskih materialov iz tankih nanostrukturiranih plasti TiO_xN_y , v katere smo vgradili majhne gručice Ir atomov. Tovrstne strukture smo pripravili po inovativnem postopku. Zaradi majhne količine vgrajenega Ir, ki je omejeno dostopen in je draga surovina, so takšni katalizatorji zelo perspektivni za uporabo pri pridobivanju vodika. O tem smo poročali v odmevnem znanstvenem članku (objava 7). Katalitske plasti smo pripravili z ionskim naprševanjem iz tarče, ki je bila narejena iz zlitine Ti-Ir. Nanesene plasti smo najprej anodno oksidirali v amorfno fazo TiO_2 -Ir in nato segreti v dušikovi atmosferi, da je nastala stabilna oksid-nitridna plast z veliko specifično površino in z vgrajenimi gručami Ir atomov. Katalizator je kazal odlične lastnosti za sproščanje kisika v kislem mediju, kar je pomembno za razvoj novih elektrokatalizatorjev. Poleg drugih analiznih metod za karakterizacijo katalitske plasti smo v našem laboratoriju uporabili tudi metodi XPS in ToF-SIMS. Z metodo XPS smo iz spektrov Ir 4f, Ti 2p, O 1s in N 1s ugotovili oksidacijska stanja elementov Ir(0), Ir(4+), Ti(4+) ter kemične vezi Ti-NO in Ti-N v tanki plasti katalizatorja (slika 7). ToF-SIMS globinski profili porazdelitve elementov v tankih plasteh so pomagali razumeti mehanizem rasti tankih plasti katalizatorja v obliki porozne strukture Ti-N-O-Ir.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Filipič, Arijana, Dobnik, David, Gutiérrez-Aguirre, Ion, Ravnikar, Maja, Košir, Tamara, Baebler, Špela, Štern, Alja, Žegura, Bojana, Petkovšek, Martin, Dular, Matevž, Mozetič, Miran, Zaplotnik, Rok, Primc, Gregor, Cold plasma within a stable supercavitation bubble – a breakthrough technology for efficient inactivation of viruses in water, *Environment International*, 2023, **182**, 108285
2. Vesel, Alenka, Zaplotnik, Rok, Primc, Gregor, Mozetič, Miran, Evolution of surface functional groups and aromatic ring degradation upon treatment of polystyrene with hydroxyl radicals, *Polymer Degradation and Stability*, 2023, **218**, 110582
3. Zaplotnik, Rok, Drenik, Aleksander, Vesel, Alenka, Mozetič, Miran, Ammonia production in a dual crossed atom beam experiment, *Nuclear fusion*, 2023, **63**, 6, 066035
4. Vesel, Alenka, Zaplotnik, Rok, Mozetič, Miran, Recek, Nina, Advanced method for efficient functionalization of polymers by intermediate free-radical formation with vacuum-ultraviolet radiation and producing superhydrophilic surfaces, *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, 2023, **443**, 114876
5. Rawat, Niharika, Benčina, Metka, Paul, Domen, Kovač, Janez, Lakota, Katja, Žigon, Polona, Kralj-Iglič, Veronika, Ho, Hsin-Chia, Vukomanović, Marija, Iglič, Aleš, Junkar, Ita, Fine-tuning the nanostructured titanium oxide surface for selective biological response, *ACS Applied Bio Materials*, 2023, **6**, 12, 5481–5492
6. Starič, Pia, Remic, Lucija, Vogel-Mikuš, Katarina, Junkar, Ita, Vavpetič, Primož, Kelemen, Mitja, Pongrac, Paula, Exploring the potential of cold plasma treatment followed by zinc-priming for biofortification of buckwheat sprouts, *Frontiers in Nutrition*, 2023, **10**, 1151101
7. Suhadolnik, Luka, Bele, Marjan, Čekada, Miha, Jovanovič, Primož, Maselj, Nik, Lončar, Anja, Dražič, Goran, Šala, Martin, Hodnik, Nejc, Kovač, Janez, *et al*, Nanotubular TiO_xN_y -supported Ir single atoms and clusters as thin-film electrocatalysts for oxygen evolution in acid media, *Chemistry of Materials*, 2023, **35**, 6, 2612–2623

Patent

1. Primc, Gregor, Zaplotnik, Rok, Mozetič, Miran, Filipič, Arijana, Gutiérrez-Aguirre, Ion, Dobnik, David, Dular, Matevž, Petkovšek, Martin, Method and device for disinfection of liquid, US11807555 (B2), United States Patent and Trademark Office, 7. 11. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA19110; Uporaba plazme za napredno in trajno kmetijstvo
COST Association AISBL
doc. dr. Gregor Primc
2. COST CA20114; PlasTHER - Terapevtski učinki hladne plinske plazme
COST Association AISBL
doc. dr. Ita Junkar
3. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
doc. dr. Ita Junkar
4. Obetavna eko-sterilizacija patogenih gliv na semenih z uporabo reaktivnih zvrsti v plinski plazmi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
5. Priprava površine superhidrofobnih celuloznih nanovlaken in interakcija s PLA polimerom za uporabo kot inovativni material za pakiranje
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
6. Karakterizacija kisikove plazme v močnostnih plinskih razelektritvah
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
7. Katalitične sonde za karakterizacijo vodikove plazme
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Gregor Primc
8. Trajnostna predelava hrane za prihodnost - implementacija plazme na večih nivojih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Ita Junkar
9. Sinteza in karakterizacija katalitskih materialov z interaktivnimi podlagami na osnovi dopiranih nanodelcev titan dioksida različnih oblik za gorivne celice
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Janez Kovač
10. OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
prof. dr. Janez Kovač
11. OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Miran Mozetič

PROGRAMA

1. Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin
prof. dr. Miran Mozetič
2. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Rok Zaplotnik

PROJEKTI

1. Alternativni pristopi k zagotavljanju kvalitetnega in varnega mikrobioma ajde
prof. dr. Miran Mozetič
2. Plazemska obdelava poroznih heterogenih substratov na biološki osnovi
prof. dr. Janez Kovač
3. Vpliv mehanike in topologije membrane na celično ujetje bakterij, virionov in anorganskih delcev
prof. dr. Ita Junkar
4. Odstranjevanje izbranih protimikrobnih učinkovin s hibridno kavitacijsko-plazemsko tehnologijo iz vodnih matric različnih kompleksnosti (Causma)
doc. dr. Gregor Primc
5. Samoorganizacija plazme v razelektritvah magnetronskega naprševanja
prof. dr. Miran Mozetič
6. Novi postopki obdelave biomimetičnih vaskularnih vsadkov
doc. dr. Ita Junkar
7. Inovativni postopki obdelave površin za napredne lastnosti medicinskega jekla
dr. Metka Benčina
8. Inovativna obdelava površin zobnih nadomestkov s plinsko plazmo
dr. Metka Benčina

9. Novi kompozitni materiali s kovinsko matrico, ojačano z nanodelci ter izdelani s selektivnim laserskim taljenjem za aplikacije v orodjarstvu
prof. dr. Miran Mozetič
10. Visokotrdnostna aluminijeva zlitina za selektivno lasersko taljenje in aplikacije z zahtevano nizko težo
prof. dr. Miran Mozetič
11. Razvoj naprednih Ti6Al4V komponent rezervoarja za letalsko industrijo s hibridno SLM/DED dodajno tehnologijo
doc. dr. Ita Junkar
12. Miniaturni optični-vlakenski senzorji prostih radikalov za nadzor plazemskih procesov
doc. dr. Rok Zaplotnik
13. Nanoceluloza z ekoloških kmetij za optimalno ojačanje bioplastike
doc. dr. Gregor Primc
14. Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
prof. dr. Miran Mozetič
15. Inovativna metoda za čiščenje odpadnih voda
doc. dr. Gregor Primc
16. Razvoj varnih večnamenskih površin za katetre za preprečevanje nastanka biofilmov (DemoCat)
prof. dr. Alenka Vesel
17. Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
doc. dr. Rok Zaplotnik
18. VUV in UV sevanje iz plazme – metoda za učinkovito dekontaminacijo Aflatoksinov
dr. Nina Recek
19. Neravnovesni plazemski procesi za odlične kompozitne magnete
prof. dr. Miran Mozetič
20. Superkondenzatorji z grafenskimi nanostenami, sintetiziranimi iz odpadne plastike
prof. dr. Alenka Vesel
21. Nanostrukturne prevleke visokoentropijskih zlitin za uporabo v orodjarstvu
doc. dr. Gregor Primc
22. Možnost izboljšanja produktivnosti in zmanjšanja odvisnosti od uporabe kemičnih fungicidov v kmetijstvu z uporabo plinske plazme
doc. dr. Ita Junkar
23. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Rok Zaplotnik
24. Možnost izboljšanja produktivnosti in zmanjšanja odvisnosti od uporabe kemičnih fungicidov v kmetijstvu z uporabo plinske plazme
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
doc. dr. Ita Junkar
25. Prihodki z naslova delnega prefakturiranja stroškov zaščite intelektualne lastnine med solastniki izuma na primeru EVT140_Mozetič_Carbon Nanowall
Nagoya University
prof. dr. Miran Mozetič
26. EVT770_Mozetič_CNW2_prefakturiranje stroškov patenta; Prihodki iz naslova delnega prefakturiranja stroškov zaščite intelektualne lastnine med solastniki izuma v primeru EVT770_Mozetič_CNW2
Nagoya University
prof. dr. Miran Mozetič

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L2-2617 Sofinanciranje L-projekta: Inovativna metoda za čiščenje odpadnih voda
Induktio, d. o. o.
doc. dr. Gregor Primc
2. L2-2616 Sofinanciranje L-projekta: Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
Elvez, d. o. o.
prof. dr. Miran Mozetič
3. Sofinanciranje L-projekta: Razvoj varnih večnamenskih površin za katetre za preprečevanje nastanka biofilmov (DemoCat)
Tik, d. o. o.
prof. dr. Alenka Vesel
4. Sofinanciranje L-projekta: Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
Kolektor Group, d. o. o.
doc. dr. Rok Zaplotnik
5. Superkondenzatorji z grafenskimi nanostenami, sintetiziranimi iz odpadne plastike
ISKRA, d. o. o.
prof. dr. Alenka Vesel

OBISKI

1. prof. Katsuhisa Kitano, Takashi Kunizawa, Univerza v Osaki, Osaka, Japonska, 23. 2. 2023
2. prof. dr. Tomoyuki Murakami, Univerza Sekei, Tokio, Japonska, prof. dr. Kinga Kutasi, Budimpešta, Madžarska, 13. 5. 2023
3. prof. Jacek Jagielski, Łukasz Kurpaska, Center za jedrske raziskave, Varšava, Poljska, 26. 9. 2023
4. doc. dr. Lenka Zajičková, Central European Institute of Technology (CEITEC), Brno, Češka, 21. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Janez Kovač, prof. dr.: Kvantni materiali, 30. 3. 2023
2. Jacek Jagielski, prof.: Centre of Excellence NOMATEN: an opportunity for collaboration in material science, 27. 9. 2023
3. Lenka Zajičková, doc. dr.: Plasma polymerization for deposition of thin films with functional properties, 21. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH IN STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Metka Benčina, Ita Junkar, AIMed ECeRS 2023 Winter School, Zagreb, Hrvaška, 22. 2.–23. 2. 2023 (2)
2. Metka Benčina, Jernej Ekar, Tatjana Filipič, Ita Junkar, Janez Kovač, Miran Mozetič, Domen Paul, Gregor Primc, Pia Starič, Alenka Vesel, Rok Zaplotnik, Mark Zver, 29. mednarodno znanstveno srečanje o vakuumski tehniki, 29-ISMVST, Hotel Špik, Gozd Martuljek, 10. 5.–12. 5. 2023 (12)
3. Metka Benčina, 24th International Conference on Wear of Materials, Banff, Kanada, 14. 4.–20. 4. 2023 (1)
4. Metka Benčina, 2nd International Conference on Nanotechnologies & Bionanoscience, Heraklion, Grčija, 10. 9.–16. 9. 2023 (1)
5. Jernej Ekar, Ita Junkar, 15. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, Slovenija, 1. 6. 2023 (2)
6. Jernej Ekar, 36th European Conference on Surface Science, Lodz, Poljska, 28. 8.–1. 9. 2023 (1)
7. Jernej Ekar, SIMS Europe 2023, Nottingham, Združeno kraljestvo, 3. 9.–5. 9. 2023 (1)
8. Ita Junkar, 2nd Training School PlasTHER, Bari, Italija, 12. 2.–16. 2. 2023 (1)
9. Ita Junkar, Miran Mozetič, Gregor Primc, Alenka Vesel, 3rd PLAgri COST Workshop in ICAPT-8, Hotel Špik, Gozd Martuljek, 14. 5.–18. 5. 2023 (4)
10. Ita Junkar, 2nd Annual Meeting of COST Action PlasTHER Therapeutical applications of cold plasmas, Bologna, Italija, 4. 9.–8. 9. 2023 (1)
11. Ita Junkar, 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T), 11. 10.–13. 10. 2023, Portorož, Slovenija (1)
12. Janez Kovač, AVS 69th International Symposium and Exhibition, Portland, Oregon, ZDA, 5. 11.–10. 11. 2023 (1)
13. Miran Mozetič, IUVISTA Executive Council Meeting, Université Libre de Bruxelles, Bruselj, Belgija, 26. 1.–29. 1. 2023 (1)
14. Miran Mozetič, 4th International Conference on Data-Driven Plasma Science (ICDDPS-4), 14th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP-14), Okinawa, Japonska, 16. 4.–21. 4. 2023 (2)
15. Miran Mozetič, European Research Services on Agroecology Conference, ERSAC 2023, Praga, 5. 6.–6. 6. 2023 (1)
16. Miran Mozetič, Graphene Week 2023, Goteborg, Švedska, 4. 9.–8. 9. 2023 (1)
17. Miran Mozetič, Gregor Primc, Technical Meeting on Emerging Applications of Plasma Science and Technology, Dunaj, Avstrija, 18. 9.–22. 9. 2023 (2)

18. Miran Mozetič, 13th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE-13), Busan, Republika Koreja, 5. 11.–8. 11. 2023 (1)
19. Miran Mozetič, Gregor Primc, Alenka Vesel, Mark Zver, Delavnica 97th IUVSTA Workshop on plasma-assisted conversion of gases for a sustainable future, Cerklje na Gorenjskem, Slovenija, 17. 12.–21. 12. 2023 (4)
20. Gregor Primc, The plasma road to sustainable chemical conversion, Funchal, Portugalska, 2. 9.–9. 9. 2023 (1)
21. Gregor Primc, Global Cleaner Production Conference, Šanghaj, Kitajska, 6. 11.–13. 11. 2023 (1)
22. Pia Starič, 2nd ISO-FOOD Symposium, Portorož, Slovenija, 24. 4.–26. 4. 2023 (1)
23. Alenka Vesel, 36th European Conference on Surface Science, Lodz, Poljska, 27. 8.–2. 9. 2023 (1)
24. Alenka Vesel, PLATHINIUM (Plasma Thin Film International Union Meeting), Antibes, Francija, 10. 9.–16. 9. 2023 (1)
25. Mark Zver, 15. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, Slovenija, 31. 5.–2. 6. 2023 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Jernej Ekar, IUVISTA School Surface Shool Toolbox 2023, Poznan, Poljska, 23. 8.–26. 8. 2023 (izobraževanje)
2. Jernej Ekar, IONTOF European User's Meeting 2023, Nottingham, Združeno kraljestvo, 6. 9. 2023 (izobraževanje)
3. Janez Kovač, Physical Electronics, Minneapolis, Minnesota, ZDA, 3. 11. 2023 (raziskovalno delo)
4. Miran Mozetič, Fakulteta za strojništvo, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 17. 1.–20. 1. 2023 (raziskovalno delo)
5. Miran Mozetič, Mar Thoma College, Tiruvalla, Indija, 4. 2.–12. 2. 2023 (raziskovalno delo)
6. Miran Mozetič, Center za napredno inženirstvo, Bangkok, Tajska, 5. 3.–12. 3. 2023 (raziskovalno delo)
7. Miran Mozetič, Univerza Osaka, Osaka, Japonska, 13. 3.–17. 3. 2023 (bilateralno sodelovanje)
8. Miran Mozetič, The National University of Malaysia, Institute of Microengineering and Nanoelectronics, Bangi Selangor, Malezija, 12. 4.–15. 4. 2023 (raziskovalno delo)
9. Miran Mozetič, Fakulteta za strojništvo, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 30. 5.–4. 6. 2023 (projektno sodelovanje)
10. Miran Mozetič, Fakulteta za strojništvo, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 5. 7.–9. 7. 2023 (projektno sodelovanje)
11. Miran Mozetič, Univerza v Osaki, Osaka, Japonska, 14. 7.–21. 7. 2023 (bilateralno sodelovanje)
12. Miran Mozetič, Univerza v Nagoji, Nagoja, Japonska, 21. 7.–23. 7. 2023 (raziskovalno delo)
13. Miran Mozetič, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Department of Physics, Daejeon, Koreja, 23. 7.–28. 7. 2023 (raziskovalno delo)
14. Miran Mozetič, Advanced Engineering and Nuclear Technology Center Thailand Institute of Nuclear Technology Nakorn Nayok, Tajska, 30. 7.–4. 8. 2023 (raziskovalno delo)
15. Miran Mozetič, AgroServ, ENEA – MetroFood, Rim, Italija, 10. 8.–15. 8. 2023 (projektni sestanek)
16. Miran Mozetič, Fakulteta za kemijo, Tehnična univerza v Brnu, Brno, Češka, 23. 9. 2023 (projektno sodelovanje)
17. Miran Mozetič, Institute of Microengineering and Nanoelectronics, National University of Malaysia, Bangi Selangor, Malezija, 7. 11.–11. 11. 2023 (raziskovalno delo)
18. Miran Mozetič, Fakulteta za kemijo, Tehnična univerza v Brnu, Brno, Češka, 26. 11.–29. 11. 2023 (raziskovalno delo)
19. Miran Mozetič, Fakulteta za kemijo, Tehnična univerza v Brnu, Brno, Češka, 26. 12.–29. 12. 2023 (raziskovalno delo)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Metka Benčina
 2. doc. dr. Ita Junkar
 3. prof. dr. Janez Kovač
 4. prof. dr. Miran Mozetič, znanstveni svetnik
 5. doc. dr. Gregor Primc
 6. dr. Nina Recek
 7. **prof. dr. Alenka Vesel**
 8. doc. dr. Rok Zaplotnik
- Podoktorski sodelavci**
9. Parameswaram Ganji, PhD., Indija
- Mlajši raziskovalci**
10. Jernej Ekar, mag. kem.
 11. Domen Paul, mag. fiz.

12. Pia Starič, mag. mol. funkc. biol., odšla 16. 8. 2023

13. Mark Zver, Msc., Danska

Strokovni sodelavci

14. Tatjana Filipič, dipl. inž. kem. tehnol.
15. Maja Šukarov, univ. dipl. prev.

Tehniški in administrativni sodelavci

16. Janez Trtnik

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
2. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
3. Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija
4. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
5. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
6. Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

7. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
8. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
9. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
10. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
11. Induktio, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
12. Interkorn, d. o. o., Beltinci, Slovenija
13. Iskra, PE Kondenzatorji, Semič, Slovenija
14. LEK, d. d., Ljubljana, Slovenija
15. Teroxal, Komenda, Slovenija
16. Tik, d. o. o., Kobarid, Slovenija
17. Vacutech, Ljubljana, Slovenija
18. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, Slovenija
19. Elvez, d. o. o., Ivančna Gorica, Slovenija
20. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
21. Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška
22. Institut za fiziko, Beograd, Srbija
23. Inštitut za nuklearne znanosti Vinča, Nacionalni inštitut Republike Srbije, Univerza v Beogradu, Beograd, Srbija
24. Fakulteta za matematiko in fiziko, Karlova univerza, Praga, Češka
25. Češka tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka
26. Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka
27. Tehniška univerza, Brno, Češka
28. Univerza Comenius, Bratislava, Slovaška
29. Plasmait, Lebring, Avstrija
30. Institut BioSys, Tehnična univerza v Gradcu, Gradec, Avstrija
31. Sinhrotron Elettra, Trst, Italija
32. KAIST, Daejeon, Južna Koreja
33. Univerza Illinois, Urbana, ZDA
34. Univerza v Louisvillu, Louisville, ZDA
35. Univerza v Nagoji, Nagoja, Japonska
36. Univerza v Osaki, Osaka, Japonska

Raziskave Odseka za fiziko trdne snovi so usmerjene v področje fizike kvantnih in funkcionalnih materialov, neurejene in delno urejene kondenzirane materije ter faznih prehodov v teh sistemih. Namen teh raziskav je odkriti osnovne fizikalne zakonitosti v materialih z močnimi elektronskimi korelacijami ter v neurejenih in delno urejenih sistemih, ki so vmesni člen med popolnoma urejenimi kristali na eni strani ter amorfni snovmi in živo materijo na drugi. Raziskave so osredotočene na razumevanje elektronskih lastnosti ter strukture in dinamike na mikroskopski ravni, kar je pogoj za razvoj in uporabo novih kvantnih ter funkcionalnih materialov, nanomaterialov ter biološke in mehke snovi. Pomemben del raziskovalnih aktivnosti odseka je usmerjen v razvoj novih merilnih metod in eksperimentalnih tehnik na področju hladnih atomov, kvantnega magnetizma, kvantne optike, biofotonike ter superresolucijskega fluorescenčnega slikanja. Prav tako smo močno vpeti v številna mednarodna sodelovanja in koristimo veliko evropsko raziskovalno infrastrukturo.



Vodja:

prof. dr. Denis Arčon

Raziskave sodelavcev Odseka za fiziko trdne snovi Instituta "Jožef Stefan" potekajo v tesnem sodelovanju z Oddelkom za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Institutom za matematiko, fiziko in mehaniko ter z Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana. V letu 2023 so raziskave potekale v okviru štirih programskih skupin:

- Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov,
- Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur,
- Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini,
- Fizika kvantnih tehnologij.

I. Programska skupina Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov

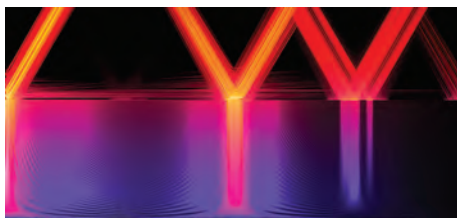
Kvantni in topološki magnetizem

Andrej Zorko in Matjaž Gomilšek sta s sodelavci iz Indije in Nemčije v reviji *Physics Reports* objavila pregledni članek, ki ponuja pregled najnovejših dognanj na področju kvantnih in topoloških stanj materialov, ki izhajajo iz magnetne frustracije, kot so spinski led (z vzbuditvami, ki se obnašajo kot magnetni monopoli), kvantne spinske tekočine (potencialne platforme za bolj robustne kvantne računalnike) ter topološke spinske teksture, kot so skirmioni (za spintronska vezja – magnetni analogi elektronskih vezij). Avtorji so v tem preglednem članku izpostavili značilne eksperimentalne znake teh eksotičnih in pogosto izmuzljivih stanj ter predstavili najprimernejše eksperimentalne tehnike za njihovo karakterizacijo. Članek ponuja izčrpen pregled možnih smernic nadaljnjega razvoja tega področja in izpostavlja potencial za praktične aplikacije in za razrešitev pomembnih odprtih vprašanj v sodobni fiziki kondenzirane snovi. Delo so objavili v članku J. Kathua *et al.* Experimental signatures of quantum and topological states in frustrated magnetism, *Phys. Rep.* **1041**, 1 (2023).

Andrej Zorko je s sodelavci iz Indije, ZDA in Južne Koreje objavil članek o medsebojnem prepletanju učinkov spinsko-orbitalne sklopitve, anizotropne magnetne interakcije, kvantnih fluktuacij, povzročenih z geometrijsko frustracijo, in spinskimi korelacijami v mreži satovja $\text{Ba}_9\text{Yb}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}$. Prikazali so spinsko-orbitalno prepleteno stanje Kramersovega dubleta ionov Yb^{3+} in ocenili energijsko režo $32,3(7)$ meV do prvega vzbujenega Kramersovega dubleta. V poskusih z ^{29}Si NMR niso bili najdeni nobeni znaki magnetnega urejanja oziroma zamrzovanja vse do 1,6 K. Delo je bilo objavljeno v članku J. Kathua *et al.* Magnetic properties of a spin-orbit entangled $J_{\text{eff}} = 1/2$ honeycomb lattice, *Phys. Rev. B* **108**, 054442 (2023).

Tina Arh, Matjaž Gomilšek in Andrej Zorko so v sodelovanju s partnerji iz Švice določili optimalen eksperimentalni postopek za kvantitativno določanje mionskih Knightovih premikov. Ta določitev je precej zahtevna, saj na večini instrumentov ni mogoče neposredno izmeriti zunanjskega magnetnega polja na vzorcu. Avtorji so pokazali način, kako premagati to težavo, ter predlagali ustrezno shemo montaže vzorca in korekcij polja. To omogoča kvantitativno določanje pravih vrednosti Knightovega premika tudi v ekstremnih eksperimentalnih okoljih, kjer ločena meritev zunanjskega magnetnega polja z NMR ali dodatnim μSR ni izvedljiva ali praktična. Delo

Kvantni in (več)funkcionalni materiali so izjemnega pomena za trajnostni razvoj in naš uspešen prehod v popolnoma digitalno družbo. Raziskovali smo zapletene vzbuditve v modelnih sistemih za kvantne spinske tekočine, spinsko dinamiko v masivnih topoloških skyrmionskih mrežah, raziskovali smo lastnosti visokoentropijskih zlitin in relaksorsko fiziko epitaksialnih tankih plasti ter iskali povezavo med magnetizmom in superprevodnostjo.



Slika 1: Teoretična napoved kvadrupolnega mionskega spektra mionov v trdnem dušiku $\alpha\text{-N}_2$, ki upošteva kvantne pojave mionov in okoliških atomskih jeder. Prikazana je frekvenca (zgoraj) in časovna (spodaj) odvisnost mionske polarizacije (barva) od zunanjega magnetnega polja (horizontalna os).

je bilo objavljeno v članku F. Hotz *et al.* *An experimental procedure to determine quantitative muon Knight shifts*, *J. Phys.: Conf. Ser.* **2462**, 012041 (2023).

Matjaž Gomilšek je s sodelavci iz Velike Britanije objavil članek o kvantnih pojavih mionov v trdni snovi in njihovi magnetni sklopitvi s kvadrupolnimi atomskimi jedri. Vzpostavili so nov teoretičen okvir za opis močnih kvantnih pojavov nedoločenosti položaja mionov in kvantne prepletenosti položaja mionov s položaji bližnjih atomskih jeder (slika 1). V tem so ključno izkoristili veliko razliko v masi miona v primerjavi z masami atomskih jeder. Rezultati so zelo relevantni za pravilno interpretacijo rezultatov meritev mionske spektroskopije, kar so raziskovalci uporabili za rekordno natančno določitev kvadrupolne sklopitvene konstante jeder ^{14}N v trdnem dušiku $\alpha\text{-N}_2$ prek natančnih meritev mionske spektroskopije na tem materialu. Izboljšava natančnosti, ki jo je omogočil nov teoretičen okvir, je bila skoraj trikratna glede na prej najbolj natančne meritve na tem materialu z drugimi metodami. Delo je bilo objavljeno v članku M. Gomilšek *et al.* *Many-body quantum muon effects and quadrupolar coupling in solids*, *Commun. Phys.* **6**, 142 (2023).

Matej Pregelj je s sodelavci iz Indije in Nemčije objavil prispevek, ki se osredotoča na frustrirani magnet $\text{Yb}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$. Tukaj ioni Yb^{3+} tvorijo tridimenzionalno mrežo trikotnikov, ki si delijo vogale, znano kot hiperkagome mreža. Študija ugotavlja, da ima osnovno stanje efektivni spin $1/2$ in tvori Kramerjev dublet, ki je dobro ločen od vzbujenih stanj, na kar kažejo izračuni kristalnega električnega polja. Meritve magnetne susceptibilnosti izključujejo prisotnost spinskega zmrzovanja do 1,8 K in kažejo šibko antiferomagnetno interakcijo. Elektronska spinska resonanca kaže široko črto asimetrične oblike, ki je skladna s prisotnostjo znatne magnetne anizotropije. Meritve specifične toplote kažejo na odsotnost magnetnega urejanja dolgega dosega in s tem na dinamično osnovno stanje spinske tekočine vsaj do 130 mK. Delo je bilo objavljeno v članku: B. Sana *et al.* *Magnetne lastnosti zapletenega vrtilno-orbitalnega $J_{\text{eff}} = 1/2$ tridimenzionalnega frustriranega hiperkagome materiala redkih zemelj* *Phys. Rev. B* **108**, 134413 (2023).

Tilen Knaflič in Denis Arčon sta skupaj s sodelavci z Univerze v Ljubljani raziskovala magnetne lastnosti železo-tetraporfirinskih kompleksov, ki so pomembni v številnih bioloških sistemih. Obsežna študija, objavljena v članku T. Knaflič *et al.* *Impact of counter anions on structural and magnetic properties of iron(III) meso-tetraphenylporphyrin tetrahydrofuran solvates*, *J. Phys. Chem. Solids* **181**, 111514 (2023) se je osredotočila na povezavo med različnimi anioni, kristalno strukturo in magnetno anizotropijo. S pomočjo metode elektronske paramagnetne resonance sta pokazala, da se ključni parameter magnetne anizotropije zmanjšuje s tetragonalno distorzijo heksa-koordiniranega Fe(III) iona in da je to v skladu s teorijo ligandov.

Magnetizem in superprevodnost

Žiga Gosar, Tina Arh, Andrej Zorko in Denis Arčon so raziskovali kvazi-enodimenzionalni superprevodnik $\text{Rb}_2\text{Mo}_3\text{As}_3$. V tovrstnih sistemih je mogoče pričakovati zelo nenavadne ureditvene parametre, še posebej pa je zanimiva možnost tripletne superprevodnosti. Da bi naslovili to odprto vprašanje, so avtorji uporabili metodo mionske spinske relaksacije. Meritve so opravili v šibkih transversalnih poljih in opazovali vpliv mreže vrtničnih niti na relaksacijo mionskega signala. Presenetljivo so ugotovili, da lahko temperaturno odvisnost mionske relaksacije opišejo tudi s superprevodnim ureditvenim parametrom s p-simetrijo. Delo je bilo objavljeno v članku Ž. Gosar *et al.* *The pairing symmetry in quasi-one-dimensional superconductor $\text{Rb}_2\text{Mo}_3\text{As}_3$* , *J. Phys. Chem. Solids* **181**, 111478 (2023).

Funkcionalni materiali

Matej Pregelj in Denis Arčon s sodelavci z Univerze v Novi Gorici in Bolgarije sta poročala o preprosti enostopenjski kemijski metodi za sintezo nizov nanocevk (NTA) z reduciranim titanovim dioksidom (TiO_2) s točkastimi napakami. Obdelava z NaBH_4 uvede kisikove proste vrzeli (OV) v mrežo TiO_2 . V študiji avtorji ugotavljajo, da je mogoče gostoto OV znatno povečati s spreminjanjem časa redukcije, kar vodi do večje optične prosojnosti TiO_2 NTA in zaostale rekombinacije nosilcev v fotoelektrokemičnem procesu. Poleg tega študija katodoluminiscence reduciranega TiO_{2-x} NTA razkriva, da OV pomembno prispevajo k emisijskim pasovom v vidnem območju, kar se odraža tudi v rentgenski fotoelektronski spektroskopiji. Spektri elektronske paramagnetne resonance so potrdili prisotnost OV v vzorcu TiO_{2-x} . Delo je bilo objavljeno v članku: M. Machreki *et al.* *Vloga mrežnih napak na optične lastnosti nizov nanocevk TiO_2 za sinergistično cepitev vode* *ACS Omega* **8**, 33255 (2023).

Matej Pregelj je s sodelavci z Odseka za tanke plasti in površine, Odseka za napredne materiale, Inštituta za matematiko, fiziko in mehaniko ter sodelavci iz Srbije raziskoval magnetne večplastne filme iz izmenjujočih se plasti kristaliziranega Ni (niklja) in amorfnega (a-) Si (silicija). Ugotovili so, da je pravokotno magnetno anizotropijo, ki je bistvena za na primer aplikacije magnetnega shranjevanja, mogoče vzpostaviti tudi, če debelina posamezne plasti Ni presega 15 nm, kar pomeni, da presega trenutne meje v literaturi. Filmi, proizvedeni z magnetronskim

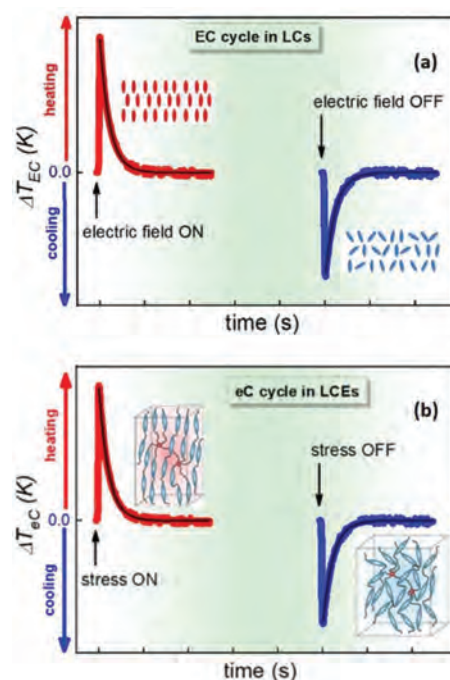
napraševanjem, so imeli [a-Si/Ni/a-Si] sendvič strukturo in [a-Si/Ni/a-Si]₂ večplastno strukturo, potrjeno z vrstično transmisijsko elektronsko mikroskopijo. Magnetne lastnosti so bile raziskane z meritvami magnetizacije in elektronske magnetne resonance, ki jasno kažejo na prisotnost pravokotne magnetne anizotropije. Slednja lahko izvira iz difuzije, neskladnosti v toplotnem raztezanju ali notranjih napetosti, nastalih med procesom rasti. Ti rezultati bi lahko bili pomembni za aplikacije v pomnilniških napravah, senzorjih, logičnih čipih, magnetnooptičnih, magnetoelektronskih in spintronskih napravah. Delo je objavljeno v članku: M. Tadić *et al.* *Pravokotna magnetna anizotropija pri sobni temperaturi v napršeni plastni strukturi a-Si/Ni/a-Si z debelimi plastmi Ni (niklja)* *Ceram. Int.* **49**, 32068 (2023).

Denis Arčon je skupaj s podoktorsko raziskovalko iz Japonske Yuri Tanuma in sodelavci iz tujine raziskoval lastnosti azafulerenskih radikalov C₅₉N. V objavi Y. Tanuma *et al.* *Noncontact Layer Stabilization of Azafullerene Radicals: Route toward High-Spin-Density Surfaces*, *ACS Nano* **17**, 25301–25310 (2023) so raziskovali z metodo nizkotemperaturne tunnelske mikroskopije samourejanje C₅₉N molekul na zlatu. Najpomembnejši rezultat te študije je odkritje izredne stabilnosti C₅₉N radikalov v drugi nekontaktni plasti, kar odpira številne možnosti tudi za manipulacijo z njihovim spinskim (kubitnim) stanjem. To zanimivo funkcionalno lastnost azafulerenov so nato še dodatno raziskali z metodo elektronske paramagnetne resonance in pokazali, da imajo ti radikali, ko so ujeti v t. i. [10]CPP nanoobroče, izredno dolge koherenčne čase. Raziskava je bila objavljena v Y. Tanuma *et al.* *Long Spin Coherence Times on C₅₉N-C₆₀ Heterodimer Radicals Entrapped in Cycloparaphenylene Rings*, *J. Phys. Chem. C* **127**, 13, 6552–6561 (2023).

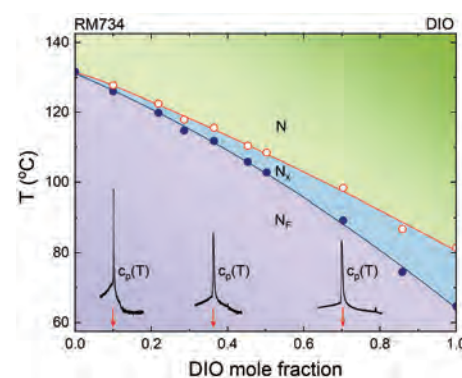
Dejvid Črešnar, Nikita Derets, Maja Trček, Gregor Skačej, Andraž Rešetič, Marta Lavrič, Valentina Domenici, Boštjan Zalar, Samo Kralj, Zdravko Kutnjak in Brigita Rožič so objavili članek, v katerem so predstavili elektrokaličen odziv v mehkih materialih na osnovi tekočih kristalov. Na primeru tekočega kristala 14CB so pokazali, da tekoči kristali s faznim preходом prvega reda (med smektično A in izotropno fazo) izkazujejo močan elektrokaličen odziv s temperaturno spremembo ~8K. S tem so pokazali, da tekoči kristali predstavljajo zanimiv razred materialov, potencialnih za hladilne aplikacije, na osnovi elektrokaličnega odziva. V svoji študiji so prav tako pokazali, da s spreminjanjem gostote zamreževalcev v tekočokristalnih elastomerih vplivajo na naravo faznega prehoda med nematsko in izotropno fazo. Posledično so izboljšali elastokaloričen odziv v tekočokristalnih elastomerih in pokazali, da je njihova elastokalorična odzivnost kar tri velikostne rede višja kot v zlitinah z oblikovnim spominom. Rezultati so bili objavljeni v članku D. Črešnar *et al.* *Caloric effects in liquid crystal-based soft materials*, *J. Phys. Energy* **5**, 045004 (2023).

George Cordoyiannis je s sodelavci iz Belgije in Velike Britanije proučeval fazne prehode v seriji mešanice tekočih kristalov RM734 in DIO, ki kažejo nove vrste feroelektričnih nematskih faz. RM734 ima nematsko (N) in feroelektrično nematsko (N_F) fazo, medtem ko ima DIO N in N_F fazi, ločeni z vmesno fazo (N_X). S pomočjo kalorimetrije visoke ločljivosti so izdelali natančen fazni diagram v odvisnosti od sestave zmesi, ki vpliva na feroelektrično sklopitev. Fazni diagram je skladen z idealnim obnašanjem zmesi, če so v analizi uporabljene skupne vrednosti enthalpije. Analiza kritičnega obnašanja N_X-N_F faznega prehoda zmesi kaže sistematičen trend manjšanja vrednosti kritičnega eksponenta od $\alpha = 0,88 \pm 0,10$ za DIO proti $\alpha = 0,50 \pm 0,05$ (trikritično) za koncentracijo RM734. Rezultati so bili objavljeni v članku J. Thoen *et al.* *Phase transitions study of the liquid crystal DIO with a ferroelectric nematic, a nematic and an intermediate phase and of mixture with the ferroelectric nematic compound RM734 by adiabatic scanning calorimetry*, *Phys. Rev. E* **107**, 014701 (2023).

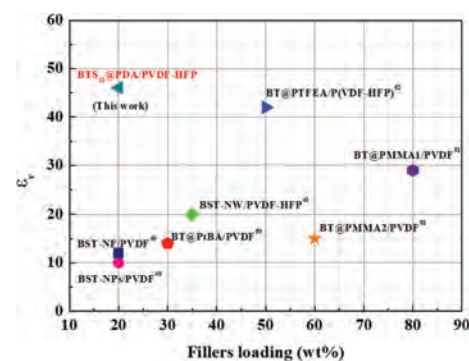
Anna Razumnaya, Nikola Novak in Zdravko Kutnjak so s sodelavci iz Maroka, Češke, Francije in Ukrajine objavili študijo vpliva polimernega prekursorja na strukturne, mikrostrukturne, magnetne in magnetokalorične lastnosti v feromagnetnem sistemu La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃. S pomočjo XRD- in SEM-analize so ugotovili, da polimerni prekursor ne vpliva na kristalno strukturo sistema, vpliva pa na mikrostrukturo in velikost sintetiziranih nanodelcev. Meritve magnetizacije so pokazale, da vzorci, pripravljeni s polimernim prekursorjem, izkazujejo višjo vrednost magnetizacije v primerjavi z vzorci, pripravljenimi po metodi samozgorevanja. Z uporabo Maxwellovih relacij so izračunali magnetokaloričen odziv in pokazali, da je ta enkrat višji kot v vzorcih, pripravljenih po metodi samozgorevanja. S tem so pokazali vpliv sinteze na funkcionalne lastnosti La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ in njegovo uporabnost kot magnetokaloričen material. Delo je bilo objavljeno v članku A. Lakouader *et al.* *Impact of polymeric precursor and auto-*



Slika 2: (a) Primer elektrokalične temperaturne spremembe kot funkcija časa ob vključitvi/izključitvi električnega polja. (b) Elastokaloričen odziv v tekočokristalnih elastomerih ob obremenitvi/razbremenitvi z mehanskim poljem.



Slika 3: Fazni diagram mešanice tekočih kristalov RM734 in DIO



Slika 4: Primerjava dielektričnega odziva v različnih nanokompozitnih sistemih prikazuje uspešno ojačitev dielektrične konstante kot posledico površinske obdelave nanoferoelektričnih delcev.

combustion on the structural, microstructural, magnetic, and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$, *J. Magn. Magn. Mater.* 586, 171225 (2023).

Zdravko Kutnjak je s sodelavci iz Maroka in Francije proučeval dielektrične lastnosti in zmožnosti shranjevanja energije v feroelektričnem polimernem nanokompozitnem materialu. Površina feroelektričnih nanodelcev $\text{BaTi}_{0.89}\text{Sn}_{0.11}\text{O}_3$ je bila hidroksilirana z namero izboljšati stične interakcije med polimerno PVDF-HFP matriko in feroelektričnimi nanodelci. Z izboljšavo stičnih interakcij v nanokompozitu so dosegli kar petkrat višjo dielektrično konstanto v primerjavi z dielektrično konstanto matrice. S pomočjo polarizacijskih histereznih zank so proučili sposobnost shranjevanja energije v pripravljenem nanokompozitnem sistemu. Ugotovili so, da je ta štirikrat višja kot v čisti polimerni matriki. Dognanja so bila objavljena v članku M. Zahid *et al.* *Dielectric and energy storage properties of surface-modified $\text{BaTi}_{0.89}\text{Sn}_{0.11}\text{O}_3$ @polydopamine nanoparticles embedded in a PVDF-HFP matrix*, *RSC Adv.* 13, 26041 (2023).

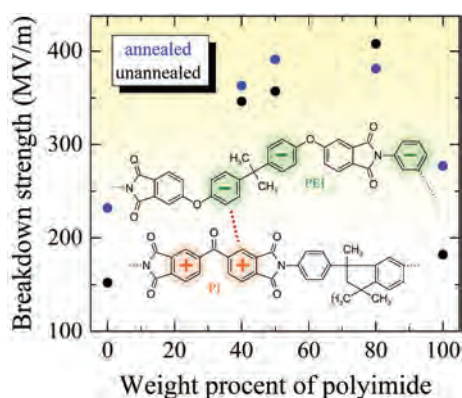
Anna Razumnaya je s sodelavci iz Nemčije, Ukrajine, Francije in Rusije objavila teoretično študijo vrtničnih stanj polarizacije v feroelektričnem svinčevem titanatu. S pomočjo numerične metode faznih polj in analitičnih izračunov so pokazali, da je formacija vrtnične ureditve polarizacije v cilindričnih nanoferoelektričnih elementih posledica ravnovesnega stanja med elastičnimi in elektrostatičnimi interakcijami. Posledično lahko spreminjamo orientacijo jedra vrtničaste polarizacijske ureditve glede na osrednjo os študiranelega elementa s spreminjanjem geometrijskih parametrov elementa in temperaturo sistema. Delo je bilo objavljeno v članku S. Kondovych *et al.* *Vortex states in a PbTiO_3 ferroelectric cylinder*, *SciPost Phys.* 14, 056 (2023).

Laboratorij **Vida Bobnarja** je raziskoval enega od glavnih izzivov pri razvoju materialov za sisteme za shranjevanje energije – doseganje visoke energijske gostote ob ohranjanju nizkih dielektričnih izgub. Kompozitni pristop, kjer so prevodni delci razpršeni v dielektrični matriki, učinkovito poveča dielektrično konstanto, a

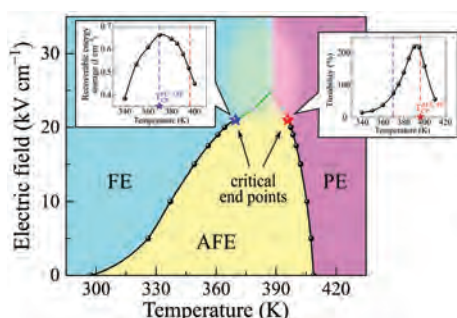
tudi izgube. Alternativni pristop je delovanje pod visokimi električnimi polji, torej povečanje električne prebojne trdnosti (E_b) brez povečanja dielektrične konstante. Fenilne skupine so temeljne komponente verig mnogih visokotemperaturnih polimerov in, odvisno od molekularne strukture polimera, lahko delokalizirani elektroni v teh skupinah izkazujejo delno pozitiven ali negativen naboj. S sintezo iz raztopin smo pripravili zmesi polieterimida (PEI) in poliimida (PI) ter izvedli njihovo obsežno dielektrično karakterizacijo. Demonstrirali smo znatno povečanje E_b v zmesih zaradi močnih elektrostatičnih interakcij med različnimi polimernimi verigami; PEI namreč vsebuje tri negativno nabite fenile, PI pa dve močno pozitivno nabiti fenilni skupini. Elektrostatične interakcije (i) močno zmanjšajo število prostih nabojev in (ii) vodijo do veliko večje gostote pakiranja verig v zmesih. Ker električni preboj povzročijo prav prosti naboji, ki jih zunanje električno polje pospeši v šibkih točkah, tj. prazninah v sistemu, obe lastnosti prispevata k povečanju E_b . Mešanje ustrezno usklajenih polimerov se je tako izkazalo kot izjemna strategija za izboljšanje dielektričnih lastnosti polimernih sistemov. Delo je bilo objavljeno v članku V. Jurečič *et al.* *Space charge contributions to the dielectric response and breakdown strength of high-temperature polyetherimide/polyimide blends*, *Macromolecules* 56, 1097 (2023).

Proučevali smo tudi vpliv kritične točke na funkcionalne lastnosti antiferoelektrične keramike $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}_{0.02}[(\text{Zr}_{0.57}\text{Sn}_{0.43})_{0.92}\text{Ti}_{0.08}]_{0.98}\text{O}_3$. V faznem diagramu električno polje–temperatura smo pokazali obstoj dveh ločenih kritičnih točk, ki zaključujeta liniji faznih prehodov prvega reda, superkritično območje nad njima ter določili trojno točko. Izjemno visoko dielektrično spremenljivost z električnim poljem (221 %), izmerjeno pri temperaturi kritične točke med antiferoelektrično in paraelektrično fazo, smo pripisali divergenci dielektrične konstante pri prehodu v paraelektrično fazo in bližini degeneriranosti faz v trojni točki. Največja gostota uporabne shranjene energije v materialu pa se pridobi v bližini temperature kritične točke med feroelektrično in antiferoelektrično fazo zaradi optimalnega razmerja med maksimalno polarizacijo, kritičnim električnim poljem in naklonom polarizacijske zanke. Delo je bilo objavljeno v V. Jurečič *et al.* *Synergetic boost of functional properties near critical end points in antiferroelectric systems*, *Physical Review Materials* 7, 114407 (2023).

Epitaksialne tanke plasti PMN-33PT so bile pripravljene s pulznim laserskim nanašanjem (PLD) z uporabo keramičnih tarč, obogatenih s PbO in MgO. Fazno sestavo in kristalno strukturo smo analizirali z rentgensko difrakcijo visoke ločljivosti. Natančna kemijska analiza plasti pa je bila izvedena z valovno disperzijsko spektroskopijo rentgenskih žarkov, ki je pokazala, da prenos materiala tarča-substrat ni popolnoma stehiometričen. Največja odstopanja so bila ugotovljena pri vsebnosti Pb in Mg. Rezultati kažejo, da je mogoče učinkovito prilagoditi stehiometrijo plasti z uporabo po meri izdelanih keramičnih tarč, ki imajo pri PLD-sintezi kompleksnih kovinskih oksidov številne prednosti pred monokristalnimi tarčami. Funkcionalni odziv razvitih materialov pa je rezultat kompleksnih interakcij med kristalno strukturo, mikrostrukturo in kemično sestavo



Slika 5: Elektrostatične interakcije med fenilnimi skupinami PEI in PI polimernih verig zmanjšajo število prostih nabojev in vodijo do večje gostote pakiranja verig ter posledično močno povečajo dielektrično prebojno trdnost PEI/PI zmesi.

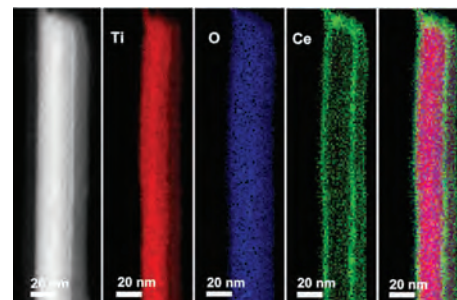


Slika 6: Fazni diagram električno polje–temperatura antiferoelektrične PZNST keramike prikazuje stabilnost FE, AFE in PE faz. FE-AFE in AFE-PE faze so med seboj ločene z linijo faznih prehodov prvega reda, ki se končajo v končni kritični točki. Prisotnost končnih kritičnih točk vpliva na ojačitev funkcionalnih lastnosti keramike, kot sta sposobnost shranjevanja energije in spreminjanje dielektrične konstante.

plast. Delo je bilo objavljeno v U. Trstenjak *et al.* *Non-stoichiometry and its implications for the properties of PMN-PT thin films*, *Journal of Materials Chemistry C* 11, 1144 (2023).

Nikola Novak je v sodelovanju s Satyanarayanom Patelom (Indian Institute of Technology Indore) in Rahulom Vaishem (Indian Institute of Technology Mandi) objavil poglavje v knjigi z naslovom *The Electrocaloric Effect: Materials and Application* (Woodhead Publishing). Knjiga povzema trenutno stanje na področju elektrokaloričnih učinkov: od osnov elektrokaloričnega učinka, materialov in njihove optimizacije do elektrokaloričnega merjenja in njihove uporabnosti v hladilnih napravah. V objavljenem poglavju z naslovom *Elektrokalorične naprave s konzolnimi strukturami* so avtorji predstavili obsežen pregled različnih elektrokaloričnih naprav na konzolnih strukturah za hladilne aplikacije na osnovi trdih materialov. Različni pristopi implementacije konzolnih struktur v hladilne namene, predstavljeni v literaturi, so proučeni, primerjani in kritično ovrednoteni. Knjiga ponuja vpogled v svet elektrokaloričnega hlajenja in omogoča, da si bralec pridobi osnovno znanje o elektrokaloričnem učinku, materialih in aplikacijah.

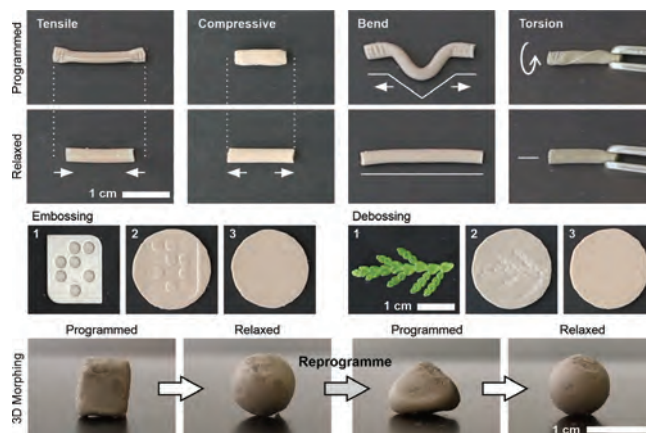
Polona Umek se je pri raziskavah TiO_2 nanostruktur osredinila na pripravo hibridnih nanostruktur na osnovi TiO_2 nanopasov in CeO_2 nanodelcev. V okviru tega smo raziskali tudi vlogo oksidacijskega stanja cerija na temperaturo pretvorbe nanopasov $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ v nanopasove TiO_2 -B in nato anataz ter nazadnje v rutil: CeO_2 - TiO_2 je pomemben mešani oksid zaradi svojih katalitičnih lastnosti. V študiji je s kolegi iz Belgije in Nemčije z enostavnim pristopom pripravila 1D TiO_2 nanopasove po površini, dekorirani z nanodelci CeO_2 . Kot prekursor je uporabila nanopasove $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$. Kot vir cerija je uporabila dve cerijeve soli s cerijem v oksidacijskem stanju 4+ in 3+ ($\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ in $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). HAADF-STEM analiza s Ce^{4+} modificiranih nanopasov $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ je pokazala, da je na površini nanopasov $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ nastala tanka neprekinjena plast, ki vsebuje cerij (slika 7), Ce^{3+} cerijeve ioni pa so se delno vključili med plasti titanata. Spremembe fazne sestave in morfologije je spremljala s kalcinacijo med 620 °C in 960 °C. Toplotna obdelava je povzročila nastanek nanodelcev CeO_2 na površini in pretvorbo $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ v TiO_2 , pri čemer se je njihova velikost večala s temperaturo kalcinacije. Z uporabo Ce^{4+} se je temperatura, potrebna za pretvorbo $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ v TiO_2 -B, zvišala za približno 200 °C, povišala se je tudi temperatura za pretvorbo TiO_2 -B – anataz. Pri seriji vzorcev, kjer je kot vir cerija uporabila Ce^{3+} , je prisotnost cerija zavirala pretvorbo v rutil. Analiza oksidacijskih stanj cerija je pokazala prisotnost tako cerija v oksidacijskem stanju 4+ kot 3+ v vseh kalciniranih vzorcih, ne glede na začetno oksidacijsko stanje cerija. Rezultati so bili objavljeni v reviji P. Umek *et al.* *The Role of Cerium Valence in the Conversion Temperature of $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ Nanoribbons to TiO_2 -B and Anatase Nanoribbons, and Further to Rutile*. *Molecules* 28, 1-14 (2023).



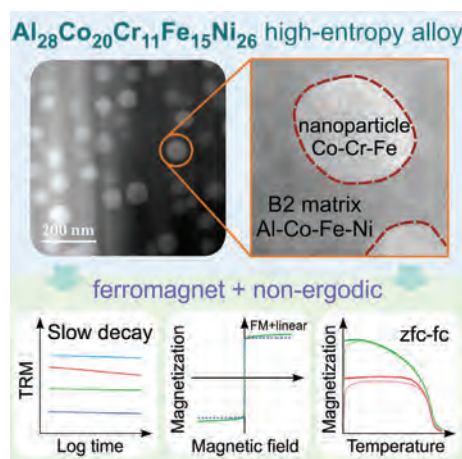
Slika 7: HAADF-STEM slika nanopasu $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ oploščenega s Ce^{4+} s pripadajočimi ploskovnimi analizami Ti, O in Ce (EELS). Primerjava ploskovnih analiz Ti, O in Ce pokaže, da je površina nanopasu enakomerno oploščena s približno 4 nm debelo plastjo, ki vsebuje cerij.

Programabilni oblikovni spomin v polimerno dispergiranih tekočerkristalnih elastomerih in kompozitih

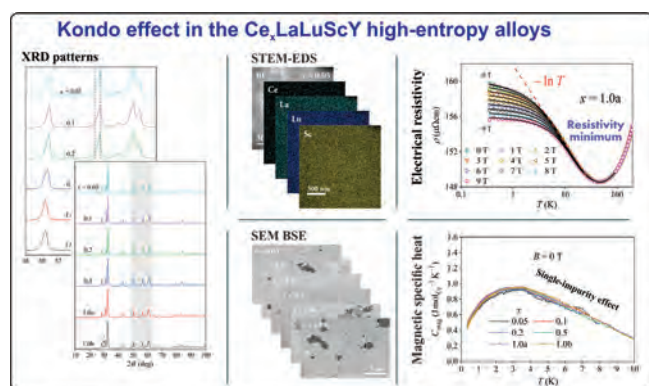
Trenutni razvoj mehkih pametnih materialov z oblikovnim spominom je večinoma omejen na sintezo tankih vzorcev, kar močno omejuje njihovo praktično uporabo. Tridimenzionalnost materiala sicer lahko dosežemo z bolj zapletenimi metodami, na primer z aditivnim nanašanjem, toda za to potrebujemo namensko opremo, izdelava materiala pa je tipično počasna in omejena na manjše količine. M. Bobnar, N. Derets, S. Umerova, N. Novak, M. Lavrič, G. Cordoyannis, B. Zalar in A. Rešetič ter V. Domenici iz Italije smo razvili novi kompozitni material z oblikovnim spominom, ki temelji na disperziji glavnih verižnih tekočerkristalnih elastomernih delcev (TKE) v polimerni matriki. Ta nam omogoča preprosto izdelavo pametnih materialov poljubnih oblik in velikosti, zlasti izdelavo večjih tridimenzionalnih vzorcev s polnim volumnom, kar je z običajnimi metodami težko realizirati. Oblikovni spomin izvira iz mehanskih lastnosti delcev TKE, katerih trdota se močno spreminja s temperaturo: Delci postanejo mehkejši pri višjih temperaturah, ko preidejo v t. i. izotropno fazo, in trdnjši pri nižjih, ko so v steklasti fazi. Kompozit zato lahko preoblikujemo pri višjih temperaturah in nato z ohlajanjem novo obliko prek povišane trdote delcev tudi obdržimo. S takim termičnim cikliranjem vprogramiramo novo obliko vzorca. Oblikovni spomin nato preprosto ponastavimo s ponovnim gretjem v izotropno fazo delcev. Tak mehanizem oblikovnega spomina, tj. izkoriščanje spremenljive trdote dispergiranih vključkov za programiranje oblike, je povsem nov. Po želji lahko delce TKE tudi magnetno uredimo in s tem v material zapišemo še dodatni reverzibilni termomehanski odziv. Material je še posebej primeren za implementacijo v napredne aplikacije, kot so na primer aktivni elementi v mehki robotiki. Rezultati so objavljeni v članku M. Bobnar *et al.* *Polymer-dispersed liquid crystal elastomers as moldable shape-programmable material*. *Nature Communications* 14, 764 (2023).



Slika 8: Primeri oblikovnega spomina v TKE kompozitih

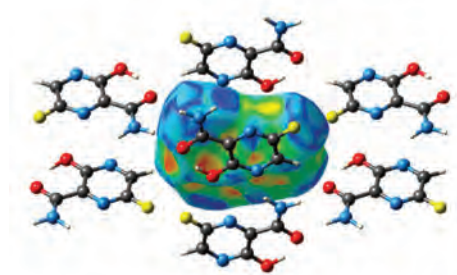


Slika 9: Nanostruktura visokoentropijske spojine $\text{Al}_{28}\text{Co}_{20}\text{Cr}_{11}\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{26}$, določena s TEM-mikroskopijo (zgornja dva panela). Magnetne meritve te visokoentropijske spojine - časovni razpad termoremanentne magnetizacije (TRM), magnetizacijska krivulja $M(H)$ in temperaturno odvisna magnetizacija (spodnji paneli).



Slika 10: Rentgensko sipanje, EDS zemljevidi elementov, SEM-slike s povratno sipanimi elektroni, električna upornost in magnetna specifična toplota heksagonalnih visokoentropijskih spojin $\text{Ce}_x\text{LaLuScY}$ ($x = 0.05-1.0$)

in dvojno kvadrupolno resonanco ter računalniškim modeliranjem trde snovi smo lahko modelirali molekularno okolico dušikovih atomov in karakterizirali medmolekularne interakcije. V študiji smo primerjali vezavo molekul Favipiravirja (v kristalni, predkatalitični in aktivni obliki) na RNA-molekulo, kar bi lahko tudi omogočilo dizajniranje bolj učinkovitih zdravil proti SARS-CoV-2. Študija je bila objavljena v J. N. Latosińska *et al.* *Elucidating the Role of Noncovalent Interactions in Favipiravir, a Drug Active against Various Human RNA Viruses; a ^1H - ^{14}N NQDR/Periodic DFT/QAIM/RDS/3D Hirshfeld Surfaces Combined Study*, *Molecules* 28, 3308 (2023).



Slika 11: Kristalna struktura in Hirshfeldova površina Favipiravira

Visokoentropijske zlitine in intermetalne spojine

Raziskovalna skupina laboratorija za električne, magnetne in termične meritve Odseka za fiziko kondenzirane snovi (Andreja Jelen, Julia Petrovič, Magdalena Wencka, Jože Luzar, Primož Koželj, Stanislav Vrtnik, Peter Mihor in Janez Dolinšek) je v letu 2023 raziskovala električne, magnetne in termične lastnosti visokoentropijskih kovinskih spojin (kristalnih trdnih raztopin iz petih ali več večinskih kemijskih elementov v ekvimolarnih koncentracijah).

V članku P. Koželj *et al.* *Complex magnetism of single-crystalline AlCoCrFeNi nanostructured high-entropy alloy*, *iScience* 26, 106894 (2023) smo raziskali magnetizem nanostrukturirane visokoentropijske spojine $\text{Al}_{28}\text{Co}_{20}\text{Cr}_{11}\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{26}$ v morfologiji monokristala. Material je nanostrukturiran, sestavljen iz matrike v kristalni simetriji B2 in v njej dispergiranih nanodelcev povprečnega premera 64 nm in A2 kristalne simetrije (slika 9). Rezultati so pokazali, da se v B2 matriki kemijske kompozicije $\text{Al}_{28}\text{Co}_{25}\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{32}$ (brez Cr) ustvari neurejeno feromagnetno stanje s Curiejevo temperaturo $T_c \approx 390$ K. V A2 nanodelcih s kemijsko kompozicijo $\text{Co}_{19}\text{Cr}_{56}\text{Fe}_{25}$, v kateri ni Al in Ni, pa se ustvari struktura skorja-sredica, kjer ima skorja debelino 2 nm in je močno obogatena z elementoma Co in Fe. Skorja je feromagnetna, v sredicah pa se ustvari asperomagnetno stanje, ki jih uvršča v razred spinskih stekel. Asperomagnetno stanje se ustvari pod temperaturo 15 K in kaže tipične efekte za magnetno frustrirane sisteme z zlomljeno ergodičnostjo (slika 9).

V članku J. Petrovič *et al.* *The Kondo Effect in $\text{Ce}_x\text{LaLuScY}$ ($x = 0.05-1.0$) High-Entropy Alloys*, *Materials* 16, 7575 (2023) smo v heksagonalnih visokoentropijskih spojinah $\text{Ce}_x\text{LaLuScY}$ ($x = 0.05-1.0$) iskali efekte koreliranih elektronov, ki gredo prek modela skoraj prostih elektronov.

Našli smo Kondov efekt (slika 10), ki je tipa izoliranih magnetnih nečistoč, čeprav se spojine uvrščajo med goste Kondove sisteme. Primerjave z drugimi tipi gostih Kondovih sistemov, kot so urejene Kondove mreže, substitucijsko neurejene Kondove mreže in Kondova amorfna stekla, so pokazale, da se Kondov efekt v visokoentropijskih spojinah $\text{Ce}_x\text{LaLuScY}$ obnaša podobno kot v substitucijsko neurejenih Kondovih mrežah in Kondovih steklih. Študirane visokoentropijske spojine $\text{Ce}_x\text{LaLuScY}$ ($x = 0.05-1.0$) so prve visokoentropijske spojine, ki se uvrščajo v razred kovinskih spojin s koreliranimi elektroni.

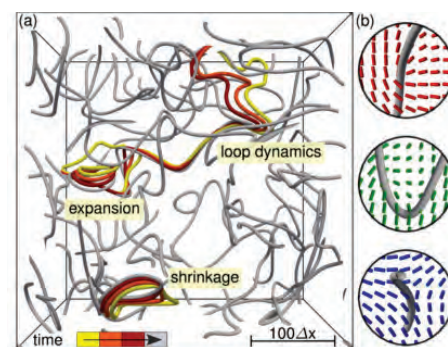
Uporaba magnetnoresonančnih metod

V sklopu raziskav farmacevtskih učinkovin je Tomaž Apih s sodelavci z metodami jedrske magnetne in kvadrupolne resonance raziskoval zdravilo Favipiravir, ki je na Japonskem registrirano kot Avigan in je v uporabi pri virusnih okužbah, vključno s koronavirusom SARS-CoV-2. S kombinacijo križne relaksometrije s hitrim cikliranjem magnetnega polja

II. Programska skupina fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur

Tekoči kristali

Redčenje in zgoščevanje aktivne turbulence. Miha Ravnik in Žiga Kos sta objavila članek skupaj z Niko Kralj (Univerza v Ljubljani) z naslovom N. Kralj *et al.* *Defect Line Coarsening and Refinement in Active Nematics*, *Phys. Rev. Lett.* **130**, 128101 (2023). Aktivne nematske tekočine so neravnovesen sistem, za katerega je značilno kaotično dinamično stanje, poznano pod imenom aktivna turbulenca. V tridimenzionalnih aktivnih nematikih se takšno stanje odraža v dinamični mreži defektnih linij. Avtorji so pokazali, kako se aktivna turbulenca dinamično odzove na spremembo materialnih lastnosti in zunanjih dejavnikov, kar privede do redčenja in zgoščevanja gostote defektnih linij. V limiti pasivnih nematskih tekočin tak pojav opiše zadnja faza Kibble-Zurekovega mehanizma in se pojavi v številnih fizikalnih sistemih, od kozmičnih strun do supertekočega helija in tekočih kristalov. Avtorji članka pa pokažejo, kako tak proces poteka v aktivni snovi, kar privede do nekaterih vzporednic z modeli redčenja kozmičnih strun.



Slika 12: Dinamika defektnih linij v aktivni turbulenci

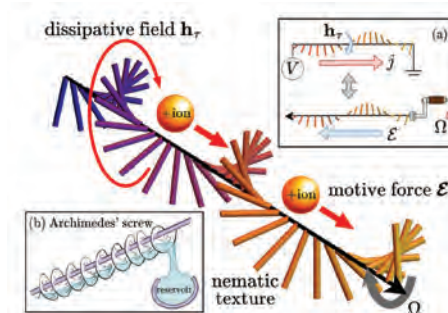
Nematronika

Sklopitev med ionskim tokom in dinamiko nematika. Miha Ravnik je v sodelovanju z UCLA in poljsko akademijo znanosti objavil članek o možnem novem sklopitvenem mehanizmu med tokom električnih ionov in nematsko dinamiko po analogiji s spintroniko (C. Dao *et al.*, *Nematronics: Reciprocal Coupling between Ionic Currents and Nematic Dynamics*, *Phys. Rev. Lett.* **130**, 168102 (2023)). Na osnovi principa najmanjše disipacije energije smo izpeljali adiabatski nematski navor ionskega toka na nematsko direktorsko polje in povratno silo na ione zaradi orientacijske dinamike direktorskega polja. Predlagali smo več funkcionalnosti te sklopitve in možne eksperimente za potrditev te sklopitve.

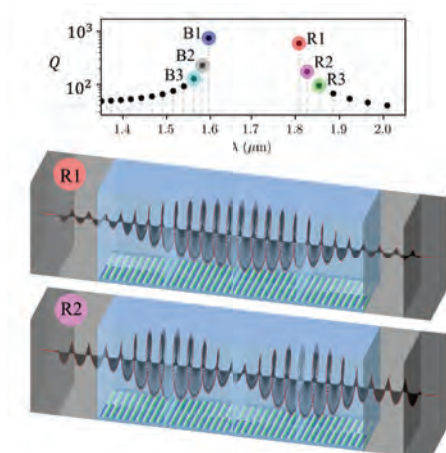
Tekočerkristalni valovodi

Objavili smo članek J. Zaplotnik *et al.* *Photonic eigenmodes and transmittance of finite-length 1D cholesteric liquid crystal resonators*, *Scientific Reports* **13**, 16868 (2023), v katerem smo predstavili rezultate eksperimentalnih meritev in numeričnih simulacij propagacije svetlobe v holesteričnih tekočih kristalih. Študirali smo transmissijske spektre v odvisnosti od debeline in dvolomnosti vzorcev ter od polarizacije in oblike snopa vpadne svetlobe. Numerične simulacije prispevajo vpogled v obliko električnega polja resonančnih načinov znotraj materiala in oceno faktorjev dobrote posameznih načinov ter njihovo odvisnost od debeline in dvolomnosti vzorca. Študija pripomore k boljšemu razumevanju propagacije svetlobe v holesteričnih tekočih kristalih, kar potencialno lahko koristi optimalni izdelavi tekočerkristalnih laserjev. Prav tako smo raziskali optično ojačenje in bledenje fluorescence za več materialov za optično ojačitev: fluorescenčna barvila, kvantne pike in palčke, organske in anorganske polaritone in nanodiamante (*Liquid Crystals*, **50**, 935

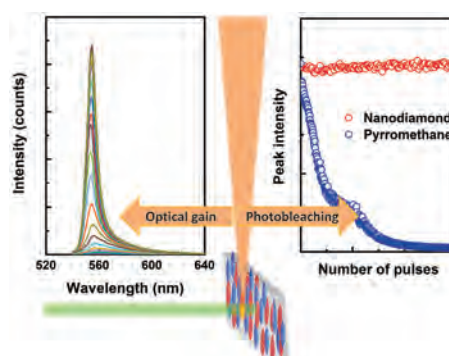
Raziskovali smo aktivne nematske tekočine, odprli novo področje raziskav nematronike ter dosegli pomembne preboje pri razvoju in razumevanju tekočerkristalnih valovodov. V modrih fazah smo proučevali kiralne skirmione, v nematičnih lupinah pa topološke defekte. Raziskave anorganskih nanocerk so pripeljale do odkritja nove generacije materialov za elektronsko emisijo.



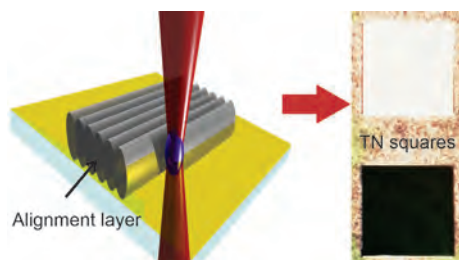
Slika 13: Shematski prikaz nematronike: sklopitve med ionskim tokom in dinamiko nematika



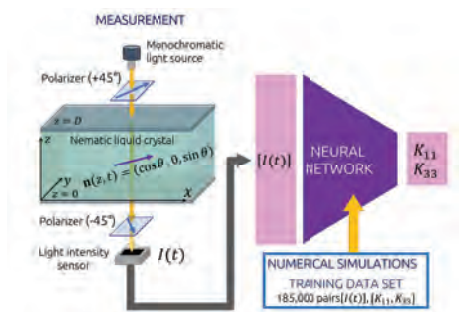
Slika 14: Električno polje resonančnih fotonskih lastnih načinov



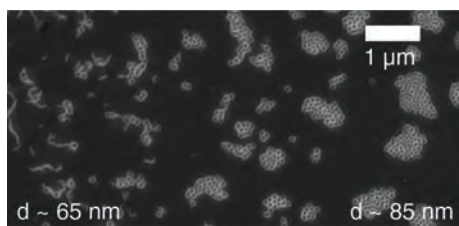
Slika 15: Meritev optičnega ojačenja in bledenja fluorescence



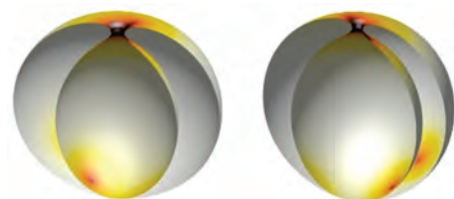
Slika 16: Direktno lasersko printanje urejevalnega nanosa zagotavlja dobro ureditev tekočega kristala.



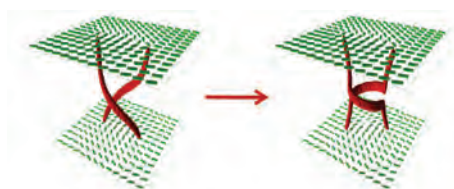
Slika 17: Shema metode prepoznavanja elastičnih konstant nematskega tekočega kristala z uporabo nevronske mreže



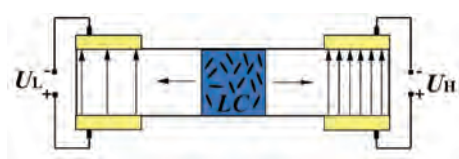
Slika 18: Strukture skyrmionov na faznem prehodu pri različnih debelinah d



Slika 19: Topološki defekti v nematičnih lupinah



Slika 20: Rekonfiguracija disklinacij



Slika 21: Skica elektrokaloričnega regeneratorskega

(2023)). Pokazali smo, da so pirometanska laserska barvila najboljši organski emitorji glede na nizko vzbujevalno energijo in visoko optično ojačenje, medtem ko so nanodiamanti najboljši glede ekstremno dolge življenjske dobe.

Predstavili smo tudi metodo za izdelavo tekočokristalnih urejevalnih nanosov z uporabo laserskega dvofotonskega 3D mikropripravljanja (*Liquid Crystals*, 50, 1999 (2023)). Uporabili smo komercialne fotoobčutljive polimere in printali tako, da je fokus femtosekundnega laserja tik nad površino steklenega substrata. Tako smo naredili urejevalni nanos, ki dobro uredi tekoči kristal z vrednostjo azimutalne površinske energije pribl. $5 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$. Prednost te metode je fleksibilnost, saj lahko printamo zelo kompleksne vzorce z debelino urejevalnega nanosa pod 100 nm.

V članku J. Zaplotnik *et al.* *Neural networks determination of material elastic constants and structures in nematic complex fluids*. *Scientific Reports* 13, 6028 (2023) smo predstavili uporabo nadzorovanega strojnega učenja nevronske mreže za prepoznavanje Frankovih nematskih elastičnih konstant. Relaksacijska dinamika tekočega kristala iz neravnovesnega začetnega stanja in hkrati časovna odvisnost prepuščene svetlobe sta odvisni od elastičnih konstant. Z več tisoč numeričnimi simulacijami materialov z naključnimi konstantami lahko naučimo nevronske mreže, da jih prepozna iz časovne odvisnosti prepuščene svetlobe. Na koncu isto nevronske mreže lahko uporabimo tudi za prepoznavanje neznanih elastičnih konstant realnih vzorcev iz eksperimentalnih meritev.

Modre faze in kiralni skyrmioni

S pomočjo visokoresolucijske optične mikroskopije smo pokazali, da sta tako struktura modre faze tipa I kot tudi tipa III, ki je veljala za nepopolno pojasnjeno, sestavljeni iz frakcijskih skyrmionov. Obe strukturi se namreč pretvorita v mrežo polskyrmionov, ko jih ogradiamo med planarne površini na razdalji med 200 in 300 nm. Eksperimentalna opažanja smo potrdili s pomočjo numeričnih simulacij (*Liquid Crystals* 50, 1406–1425, 2023). V članku, sprejetem v objavo v reviji *Physical Review Letters*, smo proučevali neznačilen fazni prehod med neurejeno izotropno fazo in fazo polskyrmionov, ki ga je mogoče opazovati v plasteh visokokiralnega tekočega kristala med dvema površinama pod debelino 100 nm. Prehod, ki je značilnost prvega reda pri večjih debelinah, se tam znatno spremeni. Tam je mogoče s prostim očesom opazovati počasne in močne fluktuacije nastajajočih in izginjajočih polskyrmionov, netrivialnih topoloških objektov, ki nosijo topološki naboj. Pri še nižjih debelinah fazni prehod postane povsem zvezen. Spremembo narave faznega prehoda smo povezali s pojavom kapilarne kondenzacije: močan vpliv površin pri tej debelini povzroči znižanje energijske bariere med izotropno in skyrmionsko fazo.

Topološki defekti v nematičnih lupinah

V sodelovanju s FNM Maribor in FE Ljubljana smo numerično proučevali vpliv lastne ukrivljenosti fleksibilnih nematičnih molekul, pritrjenih na 3D upogljive nematične lupine na strukturne in geometrijske lastnosti sistema (L. Mesec *et al.* *Coupling of nematic in-plane orientational ordering and equilibrium shapes of closed flexible nematic shells*. *Scientific Reports* 13, 10663 (2023)). Uporabili smo pristop Helfrich-Landau-de Gennes-type mezoskopski, kjer sistem opisujeta nematično molekularno polje in polje geometrijske ukrivljenosti. Demonstrirali smo, da lahko lastna ukrivljenost molekul generira bogato raznovrstnost kvalitativno različnih konfiguracij.

V sodelovanju z Univerzo v Clevelandu smo numerično analizirali rekonfiguracijo trkajočih $|m|=1/2$ disklinacij v akiralnem nematičnem tekočem kristalu. V plan-paralelnih celicah smo najprej stabilizirali pare vzporednih disklinacij. Njihove trke smo povzročili z relativnim zasokom površin, na katere so bili pripeti defekti. Demonstrirali smo kvalitativno različne rekonfiguracije različnih parov defektov v odvisnosti od debelin celic (*Crystals* 13, 904, (2023)).

Elektrokalorični odziv v nematičnih tekočih kristalih

V sodelovanju z Univerzo v Mariboru smo numerično analizirali aktivni elektrokalorični regenerator. Pri modeliranju smo uporabili Landau-de Gennesov mezoskopski pristop, kjer smo se osredotočili na bližino faznega prehoda med izotropno in nematično TK-fazo. Z regeneratorjem smo ustvarili relativno velike temperaturne spremembe, kjer smo TK-enoto komutirali med področjema različne vrednosti zunanega električnega polja.

Anorganske nanocevkke

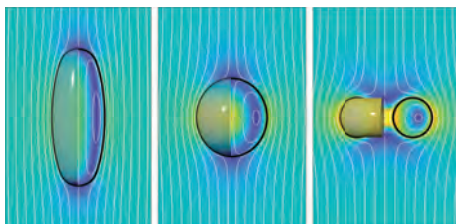
Nanotrakovi in nanocevkke molibdenovega disulfida (MoS_2) so kvazi-1D polprevodniki z močno spin-orbitalno interakcijo in nanomateriali, ki so zelo obetavni za kvantne elektronske aplikacije. V sodelovanju z OTH Regensburg smo dokazali, da dodatna plast bizmuta med kontaktno kovino in MoS_2 omogoča dober transport elektronov in odsotnost dodatnih elektronskih stanj, ki sicer otežujejo opazovanje kvantnih pojavov. Pri nizkih temperaturah ($T < 100 \text{ mK}$) je jasno vidna Coulombska blokada, ki povzroča kvantni transport elektronov v posamezni nanocevkki ali nanotraku MoS_2 . Z novim odkritjem bo raziskovalcem omogočeno odkrivanje zakonitosti v nanocevkah MoS_2 v kvantnem režimu (R. T. Schock *et al.* *Non-Destructive Low-Temperature Contacts to MoS_2 Nanoribbon and Nanotube Quantum Dots*. *Advanced Materials* 35 2209333 (2023)).

Sintetizirali smo tudi prve nanocevkke $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{S}_2$, v katere sta vgrajeni dve različni kovini, ki sta homogeno razporejeni v strukturi. Nanocevkke vsebujejo nizko gostoto strukturnih defektov in odlično kristaliničnost. Te nanocevkke imajo nižje izstopno delo v primerjavi z nanocevkami, ki vsebujejo samo eno vrsto kovinskih atomov, kar vpliva na njihovo uporabo za vire elektronov. S sodelavci iz OTH Regensburg smo testirali poljsko emisijo elektronov iz teh nanocevk in časovno stabilnost emisijskega toka. Posamezne nanocevkke kot vir elektronov so uporabne v novi generaciji naprav na poljsko emisijo v elektronskih mikroskopih, pri generiranju rentgenskih žarkov pa tudi v vesolju, kjer se z njimi nevtralizira vesoljska plovila (L. Pirker *et al.* *$\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{S}_2$ Nanotubes for Advanced Field Emission Application*. *Adv. Funct. Mater.* 33, 2213869 (2023)).

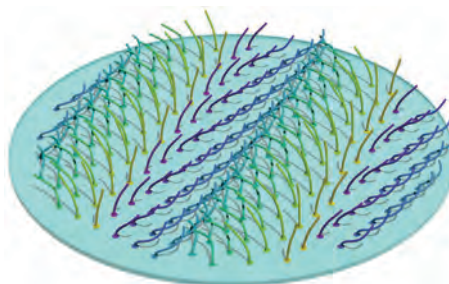
V sodelovanju z Ioffejevim inštitutom, St. Petersburg, smo raziskali spektre mikrofotoluminiscence, izmerjene vzdolž posameznih nanocevk MoS_2 z delno ali povsem sploščenimi preseki, ki se vrtijo vzdolž osi cevke. Ugotovili smo, da je vrednost razcepa whispering gallery modes eksponentno odvisna od razmerja stranic eliptično deformirane nanocevkke, medtem ko je relativna intenziteta para vrhov določena s kotom zasuka preseka. Ti rezultati odpirajo možnost delovanja večfunkcionalnih naprav na osnovi nanocevk iz dihalogenidov prehodnih kovin, ki omogočajo resonančno ojačenje emitirane svetlobe pri nastavljenih frekvencah (*Adv. Optical Mater.* 11, 2202782 (2023)). Abdou Hassanien je v sodelovanju z Univerzo Zewail, KIT Karlsruhe in KI Ljubljana objavil članek v reviji *ACS Applied Nano Materials* z naslovom *Engineering of Molybdenum Sulfide Nanobunches on MWCNT*. V članku je opisana enostavna metoda za sintezo obstojnih katalizatorjev z mešano valenco MoS_x na večstenskih ogljikovih nanocevkah za učinkovito reakcijo sproščanja vodika. Oksidacijsko stanje katalizatorjev se ohranja z inženiringom napak v amorfni fazi mešane valence, da se preprečijo popolnoma reducirane faze MoS_2 . Strukturni podatki visoke ločljivosti in analiza elementov kažejo, da je vzrok za učinkovito reakcijo povezan s kombiniranimi učinki reaktivnega oksidacijskega stanja in visoko prevodnih poti, ki jih zagotavljajo ogljikove nanocevkke.

Aktivne tekočine

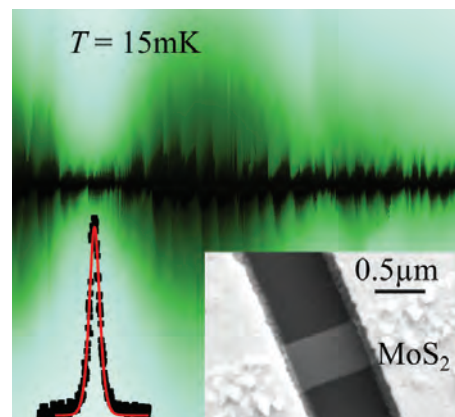
Andrej Vilfan je v sodelovanju z MPI Göttingen izpeljal splošni izrek za najmanjšo disipirano moč, ki jo potrebuje mikroplavalec v viskozni tekočini, pri čemer upoštevamo zunanjo in notranjo disipacijo (Abdallah Daddi-Moussa-Ider *et al.* *Minimum entropy production by microswimmers with internal dissipation*. *Nat. Commun.* 14, 6060 (2023)). Izrek nam omogoča, da izrazimo spodnjo mejo disipacije s koeficienti upora dveh teles enake oblike kot plavalec, vendar z različnimi robnimi pogoji. Naši rezultati kažejo, da je proizvodnja entropije s strani aktivnih mikroplavalcev podvržena drugačnim temeljnim omejitvam kot proizvodnja entropije s strani zunanjih delcev.



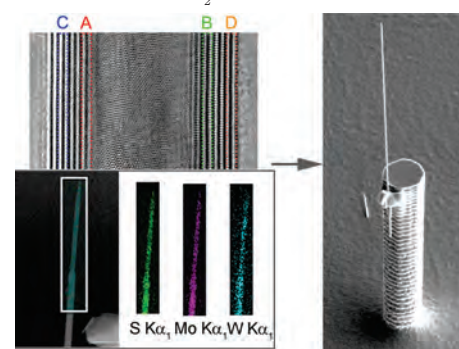
Slika 25: S pomočjo izreka za najmanjšo disipirano moč smo določili teoretično optimalne oblike mikroplavalcev.



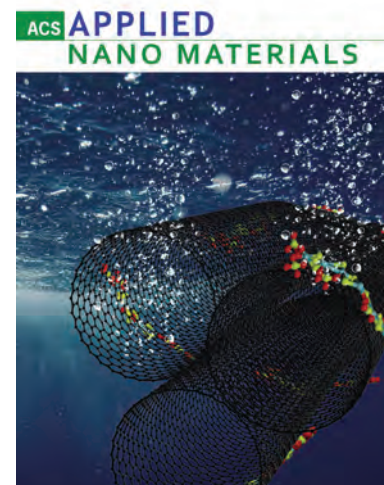
Slika 26: Sinhronizacija bioloških migetalk v končno veliki skupini



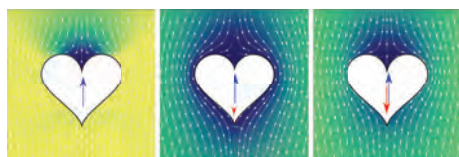
Slika 22: Diskretna kvantna stanja v nanocevkah in nanotrakovih MoS_2



Slika 23: Struktura in kemijska sestava nanocevk $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{S}_2$, uporabljenih za emisijo elektronov.



Slika 24: Naslovnica ACS Applied Nanomaterials prikazuje MWCNT z MoS_x nano-skupki.



Slika 27: Lorentzov izrek recipročnosti nam omogoča rešitev glavnega problema (aktivni mikroplovalec, levo), tako da ga poveže z enim od pomožnih problemov (z robnim pogojem brez zdrs, v sredini ali z zdrsom brez upora, desno).

Prav tako v sodelovanju z MPI Göttingen je Andrej Vilfan na osnovi minimalnega modela skupine migetalk, ki upošteva hidrodinamsko sklopitev med migetalkami v bližnjem polju, pokazal, da je interakcija med migetalkami lahko neregipročna (Proc. Natl. Acad. Sci. USA 120, e2307279120 (2023)). Kolektivno dinamiko polja migetalk tako določajo tri različne hitrosti in njihove smeri: smer transporta tekočine, smer metahronalnih valov (fazna hitrost) in smer širjenja ureditve (grupna hitrost). Slednja določa časovno skalo sinhronizacije. Neregipročne interakcije v bližnjem polju torej pripeljejo do hitre ureditve faznih valov.

Ista skupina je raziskala veljavnost Lorentzevega izreka recipročnosti v tekočinah z liho viskoznostjo (Y. Hosaka *et al.* *Lorentz Reciprocal Theorem in Fluids with Odd Viscosity*. *Phys. Rev. Lett.* 131, 178303 (2023)). Lorentzov izrek je splošno veljavna zveza, ki jo lahko uporabimo

za rešitev problemov v dinamiki tekočin pri nizkem Reynoldsovem številu, tako da glavni problem povežemo s pomožnim problemom z znano rešitvijo. Aktivne tekočine z liho viskoznostjo imajo zlomljeno simetrijo ob obratu časa in zato v njih Lorentzov izrek recipročnosti ne velja. V članku pokažemo, da izrek postane veljaven, če ima tekočina v pomožnem problemu liho viskoznost z nasprotnim predznakom. Kot prikaz uporabe izreka pokažemo, da ga lahko uporabimo za napoved gibanja aktivnih delcev v taki tekočini.

Respiratorne maske

Zmanjšajo količino onesnaževal, ki jih vdihavamo, in nas zaščitijo pred boleznimi, ki se prenašajo po zraku. Da bi zmanjšali obremenitev okolja zaradi težko razgradljivih respiratornih mask, smo na pet naravnih materialov (bombaž, volna, lan, svila, muslin) nanесли vlakna poliviniliden fluorida (PVDF) z metodo elektropredenja. Ta vlakna s spontano polarizacijo so z elektrostatskim privlakom povečala učinkovitost filtracije za delce s premeri med 100 in 300 nm, vendar niso znatno povečala padca tlaka. Dokazali smo izvrstno filtracijsko učinkovitost ob uporabi minimalne količine polimera, ki ni presegla 3 mg/m² (*Materials* 16, 2314 (2023)). Pokazali smo tudi optimizacijo preprostega dizajna respiratornih mask s kombinacijo PVDF-vlaken in melamina, pri čemer smo povečali učinkovitost filtracije (*ACS Appl. Nano Mater.* 6, 17, 15807 (2023)).

Optične črtne kode na osnovi mikroresonatorjev in mikrolaserjev

Abdur Rehman Anwar, Maruša Mur in Matjaž Humar so objavili pregledni članek, v katerem so predstavili označevanje z uporabo mikroresonatorjev in mikrolaserjev, ki ga je mogoče uporabljati za širok nabor aplikacij, na primer za označevanje izdelkov in njihove avtentičnosti, v biologiji pa na primer za označevanje celic in njihovo

sledenje (Abdur Rehman Anwar *et al.* *Microcavity- and Microlaser-Based Optical Barcoding: A Review of Encoding Techniques and Applications*. *ACS Photonics* 10, 5, 1202–1224 (2023)). Pri povrstnem označevanju je informacija na različne načine zakodirana v lastnostih svetlobe, ki jo oddaja mikroresonator, najpogosteje v njenem spektru. Slednji je odvisen od različnih lastnosti mikroresonatorja (na primer od njegove velikosti) in z uporabo mikroresonatorjev, ki se po določeni lastnosti zgolj rahlo razlikujejo, je mogoče ustvariti milijone unikatnih označb – črtnih kod. Črtno kodiranje na osnovi mikroresonatorjev in mikrolaserjev je zelo zmogljivo orodje, ki veliko obeta. Z razvojem novih vrst mikroresonatorjev in optičnih sistemov za njihovo zaznavanje bi tako označevanje lahko zavzelo izredno pomembno vlogo tako v raziskavah kot pri označevanju izdelkov v vsakdanjem življenju.



Slika 28: Različni mikrolaserji in mikroresonatorji se lahko uporabljajo kot črtne kode za označevanje izdelkov in spremljanje živih celic.

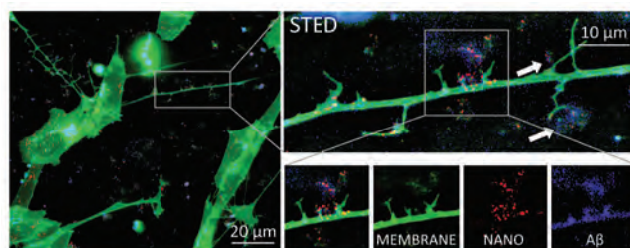
III. Programska skupina eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini

Programska skupina *Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini*

Laboratorij za biofiziko in njegovo odcepljeno podjetje Infinite, d. o. o., sta začela koordinacijo novega 4-letnega EU projekta nanoPASS, ki se osredotoča na razvoj in validacijo novih napovednih tehnologij za dolgoročno oceno varnosti brez uporabe poskusnih živali. Mednarodni konzorcij sestavljajo zelo priznani raziskovalni, industrijski in regulatorni partnerji iz sedmih držav EU.

združuje raziskave procesov in struktur bioloških sistemov z razvojem novih naprednih eksperimentalnih tehnik superločljivih mikroskopij, mikrospektroskopij in nanoskopij ter novih slikovnih tehnik. Glavno žarišče raziskav je odziv molekularnih in supramolekularnih struktur na interakcije med materiali in živimi celicami ter med svetlobo in živimi celicami. Zanimajo nas molekularni dogodki in fizikalni mehanizmi, s katerimi so ti dogodki med seboj povezani, časovne skale, pogoji ter aplikativna vrednost raziskovanih mehanizmov, predvsem za uporabo v medicini oziroma na področju zagotavljanja zdravja nasploh. Z razvojem novih sklopljenih superločljivih in spektroskopskih tehnik želimo odpreti nove možnosti spoznavanja bioloških sistemov in od tam naprej odpirati nove možnosti

za načrtovanje medicinskih materialov in naprav, za diagnostiko, terapijo ter regeneracijo tkiv, ki je med starajočim se prebivalstvom razvitega sveta med najbolj perečimi težavami. Skupina po zaključeni investiciji v nov superločljiv STED-sistem obvladuje različne fluorescenčne mikroskopije: superločljivo (STED) mikroskopijo in dvofotonsko (2PE) mikroskopijo, večkanalno spektralno-razločeno slikanje življenjskega časa fluorescence (spFLIM), fluorescenčno mikrospektroskopijo (FMS), optično pinceto, s katerimi raziskujemo interakcije predvsem med nanomateriali in celičnimi linijami, ki vodijo v fenomene lipidnega ovijanja in pasivacije nanomaterialov, membranske dizintegracije in prestavljanja celičnih membran brez vloge receptorjev oziroma klasičnih signalnih poti. Uvedli smo tudi metodo, ki omogoča spremljanje električnega polja v tumorjih pri zdravljenju rakavih obolenj z elektroporacijo, in nadalje razvili metodo multiparametričnega slikanja z magnetno resonanco za karakterizacijo hrane in zdravil ter različnih procesnih postopkov. Z magnetnoresonančnim slikanjem visoke ločljivosti lahko spremljamo učinkovitost površinskih obdelav, nastajanje in raztapljanje gelov ter merjenja difuzije v omejenih geometrijah z moduliranimi gradienti.



Slika 29: Fluorescenčna slika (s stimulirano emisijo, STED) poškodb sinaps nevronov (zeleni, MEMBRANE) in nastanka zgodnjih plakov (bele puščice) z vsebnostjo amiloid β (modro, A β) zaradi TiO₂ nanocev (rdeči, NANO)

Odkrivanje mehanizmov in napovedovanje bolezni zaradi izpostavljenosti nanodelcem

Začeli smo z vodenjem projekta Horizon Europe Research and Innovation Action nanoPASS (*Bridging the gaps in nanosafety for animal-free prediction of adverse outcomes*, ID: 101092741), ki vključuje 9 partnerjev iz sedmih držav EU. Glavni cilj projekta je razviti *in vitro/in silico* teste štirih neželenih izidov, povezanih z vdihavanjem delcev (kronično vnetje pljuč s fibrozo, zmanjšana pljučna funkcija, srčno-žilne bolezni in nevrodegeneracija) ter validirati njihove napovedi za različne družine realnih materialov, ki se uporabljajo v gradbeništvu, medicini, potrošniških in visokotehnoloških izdelkih ali se sproščajo med obdelavo in recikliranjem odpadkov. Skupaj z odcepljenim podjetjem Infinite, d. o. o., je naša vloga pri projektu razvoj *in vitro* modelov (izbira vrst celic in opazljivk) pridobivanje in analiza podatkov mikroskopije živih celic ter razvoj in validacija računskih modelov za napoved časovnega poteka simptomov bolezni. V pripravi je članek o kvantitativni napovedi kroničnega vnetja pljuč. Delo smo predstavili na več znanstvenih konferencah, vključno z dvema glavnima toksikološkima dogodkoma (NanoSafe 2023, Eurotox2023), in na vabljenem predavanju na biofizikalnem kongresu (Izmir, 2023).

Z mikroskopijo živih celic smo odkrili, da lahko delci iz okolja (na primer nanodelci iz dizelskih izpušnih plinov) sprožijo več glavnih znakov Alzheimerjeve bolezni v laboratorijskem *in vitro* modelu: skrajšanje aksonov, izgubo povezav med nevronom podobnimi celicami in nastajanje plakov, ki vsebujejo amiloid- β in tau. Članek, ki je v fazi druge revizije v priznani reviji *Nanotoxicology*, je dostopen kot prednatis (Sebastijanovič, *bioRxiv*, 2024).

V okviru nacionalnega raziskovalnega projekta *Razvoj koncepta za mehanistično napovedovanje fibroze in proženja koagulacije krvi, ki jo povzročajo vdihani materiali (uCellNet)* raziskujemo zgodnje molekularne/celične dogodke, ki izvirajo iz pljučnega epitelijskega in bi lahko bili pomembni pri proženju fibroze. Povabljeni smo bili, da predstavimo naše predhodne ugotovitve na Oddelku za genetiko na Medicinski fakulteti Louisiana State University (LSU), ZDA.

Skupaj z odcepljenim podjetjem Infinite, d. o. o., odkrivamo nove zgodnje dogodke, povezane z začetkom in napredovanjem raka zaradi izpostavljenosti nanodelcem. Osredotočili smo se na nepravilnosti pri celični delitvi, kot so podaljšanje same delitve in nastanek večjedrnih celic. Te spremembe bi lahko izvirale iz poškodb mikrotubulov, ki smo jih opazili po izpostavitvi celic nanodelcem (Podlipec, *bioRxiv*, 2024).

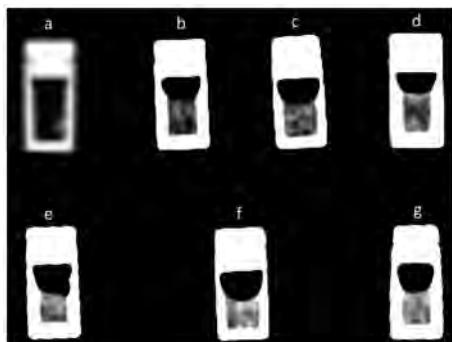
Razvoj in uporaba naprednih metod mikroskopije

Na novoustanovljenem Centru za napredno optično mikroskopijo (CNOM), ki deluje v okviru Centra za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM), smo dosegli številne mejnike pri razvoju in izgradnji visoko zmogljive fluorescenčne strukturirane mikroskopije (SIM) v kombinaciji z 2,5D mikroskopijo in slikanjem s faznim kontrastom (QPI). Uspešno smo sestavili SIM modalnost mikroskopa in posneli slike z visoko ločljivostjo, ki je bila za faktor 1.75 boljša od ločljivosti konfokalnega mikroskopa. Uspešno smo tudi sklopili SIM in 2.5D modalnosti mikroskopa, kar bo omogočilo hitro menjavo med tehnikami slikanja. Zmogljivost mikroskopa bomo še izboljšali z uvedbo modalnosti QPI, ki omogoča dober kontrast in izboljšanje ločljivosti brez specifičnega označevanja vzorca. Sistem nameravamo dokončati do konca septembra 2024, ko bomo organizirali demonstracijski dan, na katerem bomo predstavili na novo izgrajeni mikroskop.

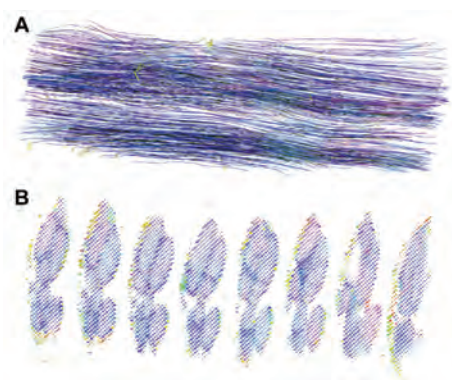
Algoritme za avtonomno mikroskopijo, razvito v sodelovanju z Laboratorijem za vizualne kognitivne sisteme Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani (projekta ARIS J7-2596, N1-0240), uporabljamo za karakterizacijo redkih jedrskih kondenzatov RNA in proteinov, ki so ključni pri uravnavanju embrionalnega razvoja (projekt ARIS J4-50145 v sodelovanju s skupino dr. Mihe Modica/prof. Jerneja Uleta, Kemijski inštitut, Ljubljana, in Francis Crick Institute, London, VB).

Testirali in karakterizirali smo več novih fluorescenčnih sond in znotrajceličnih senzorjev za napredne mikroskopske in spektroskopske tehnike, ki so bili sintetizirani na Fakulteti za farmacijo (Univerza v Ljubljani) (Kokot, in review in *Bioorganic Chemistry*). V sodelovanju z laboratorijem GlycoFluoNano z Univerze v Firenci (IT) smo določili fotofizikalne lastnosti novih modularnih biokompatibilnih glikonanomaterialov (G. Biagiotti *et al.* *Simple engineering of hybrid cellulose nanocrystal-gold nanoparticles results in a functional glyconanomaterial with biomolecular recognition properties*, *Nanoscale Horizons* 8, 776-782 (2023)).

Z nekdanjimi sodelavci z Univerze v Oxfordu (prof. C. Eggeling, zdaj na Univerzi v Jeni, Nemčija, in prof. E. Sezgin, zdaj na Karolinska Institute, Švedska) smo na povabilo napisali članek News & Views o raziskovanju molekularnih mehanizmov aktivacije celic B, sestavnega dela našega imunskega odziva, s superločljivo fluorescenčno mikroskopijo (I. Urbančič *et al.* *Do lipids tune B cell signaling?*, *Nature Chemical Biology* 19, 669-670 (2023)).



Slika 30: Slike računalniške tomografije (CT) v načinu z dvojno energijo (80 kV) vseh sedmih različnih modelov trombov, posnetih pet ur po začetku njihovega strjevanja: tromb iz trombocitov (a), tromb iz čiste plazme (b), 20 % rdečih krvnih celic (RBC), tromb (c), 40 % tromb RBC (d), 60 % tromb RBC (e), 80 % tromb RBC (f) in 100 % tromb RBC (g). Na slikah (b-g), predstavljenih v isti širini okna (WW) in sredini okna (WC), je jasno razvidno, kako se svetlost slike povečuje z naraščajočo HT. Trombocitni tromb na sliki (a) je prikazan z različnimi WW in WC, kar je optimalno za njegovo predstavitev.



Slika 31: DT-traktografija in difuzijski elipsoidi vzorca živca. (A) Slika prikazuje tridimenzionalno predstavitev živčnih vlaken v približno 9 mm dolgem segmentu medianega živca. Po dogovoru rdeča barva predstavlja smer x, zelena barva smer y, modra barva pa smer z; v našem primeru je bil živec usmerjen vzdolž osi z. (B) Difuzijski elipsoidni prikaz naslednjih rezin. Dimenzije in orientacije za elipsoide ustrezajo lastnim vrednostim in lastnim vektorjem, njihova barvna shema pa je odvisna od orientacije in določena po istem principu kot barve na traktografski sliki.

Spremljanje obdelave rastlinskih tkiv s pulzi električnega polja s pomočjo slikanja z magnetno resonanco

Sprememba prepustnosti celične membrane pri izpostavljenosti rastlinskih tkiv pulzirajočim električnim poljem (PEF) je povezana s fizikalnimi spremembami v celičnih in podceličnih strukturah. Cilj naše raziskave je bil raziskati možne heterogenosti pri PEF-obdelavi zaradi strukturne heterogenosti rastlinskih tkiv. Testirali smo uporabo PEF na naslednjih rastlinskih tkivih: jabolka, krompir in korenje. Merili smo prostorsko porazdelitev T_2 NMR relaksacije s slikanjem z magnetno resonanco v odvisnosti od lokalnega električnega polja pri PEF-obdelavi, ki smo ga izmerili z magnetnoresonančno električno impedančno tomografijo. Rezultati so pokazali naraščajočo heterogenost porazdelitve relaksacijskih časov T_2 z naraščajočo kompleksnostjo strukture tkiv (korenje > krompir > jabolko). Ta študija je bila objavljena v članku: (J. Genovese *et al.* *PEF treatment effect on plant tissues of heterogeneous structure no longer an enigma: MRI insights beyond the naked eye*, *Food chemistry* 405, 134892 (2023)).

Primerjava CT- in MR-lastnosti umetnih možganskih trombov

S to raziskavo smo želeli odgovoriti na vprašanje, ali in v kolikšni meri je mogoče z NMR- in CT-meritvami oceniti strukturo in sestavo trombov. V ta namen smo napravili sedem različnih modelov trombov: šest eritrocitnih trombov z ravnimi hematokriti (HT) 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % in 100 % in en model trombocitnega tromba. Te strdke smo analizirali s protonsko NMR pri 100 MHz in pri 400 MHz z meritvami T_1 in T_2 NMR relaksacijskega časa ter z meritvami navideznega difuzijskega koeficienta (ADC). Poleg tega so bili modeli trombov tudi slikani s CT v dvoenergijskem načinu (80 kV in 140 kV) in v enoenergijskem načinu (80 kV), da smo iz slik lahko določili njihovo absorpcijo rentgenskih žarkov v enotah Hounsfielda (Sl. 30). Rezultati so potrdili, da je mogoče eritrocitne trombe razlikovati od trombocitnih trombov z meritvami števila ADC in CT pri vseh treh nastavitvah, medtem ko jih ni mogoče razlikovati z meritvami T_1 in T_2 . Vsi izmerjeni parametri so omogočili diferenciacijo eritrocitnih trombov glede na njihove vrednosti HT, vendar je bila najboljša občutljivost na HT dosežena z meritvami ADC in CT z eno energijo. Pomen te študije je tudi v možni uporabi njenih rezultatov za karakterizacijo dejanskih trombov *in vivo* (R. Viltušnik *et al.* *Comparing CT and MR properties of artificial thrombi according to their composition*, *Diagnostics* 13, 1802 (2023)).

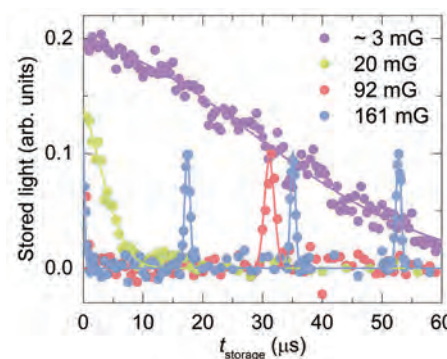
Slikanje difuzijskega tenzorja perifernih živcev z magnetnoresonančno mikroskopijo

Razumevanje mikroanatomije živcev je pomembno, ker različne nevropatije in nekatere neoplazme živcev spremlja tudi povečanje fasciklov. Namen naše študije je bil pridobiti klinično usmerjeno znanje fascikularne anatomije živca s pomočjo različnih metod anatomskega slikanja. Med te spada tudi slikanje s pomočjo magnetnoresonančne mikroskopije, ki jo pri nas izvajamo na superprevodnemu magnetu gostote magnetnega polja 9,4 T. Pred kratkim smo na novo razvili tudi metodo slikanja difuzijskega tenzorja (DTI), ki smo jo v tej študiji lahko uporabili za slikanje odsekov medianega in ulnarnega živca. S to metodo smo proučevali difuzijske lastnosti in frakcijske anizotropije različnih anatomskih struktur živca (Sl. 31). Zaradi visoke prostorske ločljivosti slikanja, ki je znašala 35 mikrometrov, je bila izvedba te študije, ki je ena prvih te vrste na svetu, poseben izziv (L. Pušnik *et al.* *Correlation between diffusion tensor indices and fascicular morphometric parameters of peripheral nerve*, *Frontiers in physiology* 14, 1 (2023)).

IV. Programska skupina Fizika kvantnih tehnologij

Zmanjševanje učinka razpadanja polaritonov v temnem stanju v kvantnem pomnilniku s hladnimi atomi

Eksperimentalno smo opazovali razpadanje in obujanje polaritonov v temnem stanju v kvantnem pomnilniku, ki temelji na principu elektromagnetno inducirane prosojnosti v oblaku hladnih cezijevih atomov v magnetnem polju. S polariziranjem atomov proti enemu od iztegnjenih Zeemanovih stanj in z optimizacijo frekvence kontrolnega žarka smo dosegli zmanjšan učinek razpadanja polaritonov v temnem stanju. Na ta način smo demonstrirali kvantni pomnilnik z le delnim razpadanjem polaritonov v temnem stanju, zaradi česar je pomnilnik uporaben za vsak čas shranjevanja in ne le ob diskretnih časih, ko se to stanje obudi. Dosegli smo čas shranjevanja, večji od 400 μs , kar je desetkrat dlje od časa, ki ga lahko dosežemo, če poskušamo izničiti magnetno polje. (K. Gosar *et al.* *Suppression of dark-state polariton collapses in a cold-atom quantum memory*. *Phys. Rev. A* **108**, 032618 (2023)).



Slika 32: Izmerjena učinkovitost priklica shranjene svetlobe v odvisnosti od časa shranjevanja za različne amplitude magnetnega polja

ERC-projekta

1. H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
2. H2020 - LOGOS; Logična vezja iz fotonske mehke snovi
European Commission
prof. dr. Igor Muševič

Najpomembnejše objave v letu 2023

1. J. Kathua *et al.*, Experimental signatures of quantum and topological states in frustrated magnetism, *Phys. Rep.*, 2023, **1041**, 1-60
2. M. Gomilšek *et al.*, Many-body quantum muon effects and quadrupolar coupling in solids, *Commun. Phys.*, 2023, **6**, 142
3. Y. Tanuma *et al.*, Noncontact Layer Stabilization of Azafullerene Radicals: Route toward High-Spin-Density Surfaces, *ACS Nano*, 2023, **17**, 24, 25301–25310
4. Bobnar, M., Derets, N., Umerova, S. *et al.*, Polymer-dispersed liquid crystal elastomers as moldable shape-programmable material, *Nat Commun*, 2023, **14**, 764
5. N. Kralj *et al.*, Defect Line Coarsening and Refinement in Active Nematics, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **130**, 12, 128101
6. C. Dao *et al.*, Nematronics: Reciprocal Coupling between Ionic Currents and Nematic Dynamics, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **130**, 16, 168102
7. Abdallah Daddi-Moussa-Ider *et al.*, Minimum entropy production by microswimmers with internal dissipation, *Nat. Commun.*, 2023, **14**, 6060
8. Y. Hosaka *et al.*, Lorentz Reciprocal Theorem in Fluids with Odd Viscosity, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **131**, 17, 178303
9. L. Pirker *et al.*, $\text{Mo}_x\text{W}_{x-1}\text{S}_2$ Nanotubes for Advanced Field Emission Application, *Adv. Funct. Mater.*, 2023, **33**, 15, 2213869
10. Abdur Rehman Anwar *et al.*, Microcavity- and Microlaser-Based Optical Barcoding: A Review of Encoding Techniques and Applications, *ACS Photonics*, 2023, **10**, 5, 1202-1224
11. I. Urbančič *et al.*, Do lipids tune B cell signaling?, *Nature Chemical Biology*, 2023, **19**, 6, 669–670
12. K. Gosar *et al.*, Suppression of dark-state polariton collapses in a cold-atom quantum memory, *Phys. Rev. A*, 2023, **108**, 3, 032618

Najpomembnejše objave v letu 2022

1. T. Arh *et al.*, The Ising triangular-lattice antiferromagnet neodymium heptatantalate as a quantum spin liquid candidate, *Nat. Mater.*, 2022, **21**, 416
2. J. Luzar, P. Priputen, M. Drienovský, S. Vrtnik, P. Koželj, A. Jelen, M. Wencka, D. Gačnik, P. Mihor, B. Ambrožič, G. Dražič, A. Meden, J. Dolinšek, Zero-Magnetostriction Magnetically Soft High-Entropy Alloys in the AlCoFeNiCu_x ($x = 0.6 - 3.0$) System for Supersilent Applications, *Adv. Mater. Interfaces*, 2022, **9**, 2201535
3. Z. Hananai, Z. Kutnjak *et al.*, *Nanoscale Adv.*, 2022, **4**, 4658-4668
4. T. Yao, Ž. Kos, Qi Xing Zhang, Yimin Luo, E. B. Steager, M. Ravnik, K. J. Stebe, Topological defect-propelled swimming of nematic colloids, *Sci. Adv.*, 2022, **8**, eabn8176

5. Ž. Kos, and J. Dunkel, Nematic bits and universal logic gates, *Sci. Adv.*, 2022, 8, eabp8371
6. J. Pišljari, S. Ghosh, S. Turlapati, N. V. S. Rao, M. Škarabot, A. Mertelj, A. Petelin, A. Nych, M. Marinčič, A. Pusovnik, M. Ravnik, and I. Muševič, Blue Phase III: Topological Fluid of Skyrmions, *Phys. Rev. X*, 2022, 12, 011003
7. G. Poy, A. J. Hess, A. J. Seracuse, M. Paul, S. Žumer, I. I. Smalyukh, *Nature Photonics*, 2022, 16, 454–461
8. Galiani, Silvia, Reglinski, K., Carravilla, P., Barbotin, Aurélien, Urbančič, Iztok, Ott, J., Sehr, J., Sezgin, Erdinc, Schneider, F., Waithe, Dominic, Hublitz, P., Schliebs, W., Erdmann, R., Eggeling, Christian, Diffusion and interaction dynamics of the cytosolic peroxisomal import receptor PEX5, *Biophysical reports*, 2022, 2, 1-15
9. M. Leroux, B. Kokot, H. Kokot, T. Koklič, J. Štrancar *et al.*, Aerosol-cell exposure system applied to semi-adherent cells for aerosolization of lung surfactant and nanoparticles followed by high quality RNA extraction, *Nanomaterials*, 2022, 12, 1362
10. I. Serša, Electric current detection based on the MR signal magnitude decay, *Magnetic resonance in medicine*, 2022, 88, 1282-1291
11. K. Gosar *et al.*, Preparation of ultracold atomic-ensemble arrays using time-multiplexed optical tweezers, *Phys. Rev. A*, 2022, 106, 022604

Najpomembnejše objave v letu 2021

1. Schymura, Stefan, Drev, Sandra, Podlipec, Rok, Rijavec, Tomaž, Lapanje, Aleš, Štok, Marko *et al.*, Dissolutionbased uptake of CeO₂ nanoparticles by freshwater shrimp: a dual-radiolabelling study of the fate of anthropogenic cerium in water organisms, *Environmental science, Nano*, 2021, 8, 7, 1934–1944
2. Everts, J. C., Ravnik, M., Ionically charged topological defects in nematic fluids, *Phys. Rev. X*, 2021, 11, 1, 011054
3. Papič, M., Mur, U., Zuhail, K. P., Ravnik, M., Muševič, I., Humar, M., Topological liquid crystal superstructures as structured light lasers, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2021, 118, 49, e2110839118
4. Peddireddy, K., Čopar, S., Le, V.K., Muševič, I., Bahr, C., Jampani, V.S.R., Self-shaping liquid crystal droplets by balancing bulk elasticity and interfacial tension, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2021, 118, 14, e2011174118
5. Pirker, L., Pogačnik Krajnc, A., Malec, J., Radulović, V., Gradišek, A., Jelen, A., Remškar, M., Mekjavič, I. B., Kovač, J., Mozetič, M., Snoj, L., Sterilization of polypropylene membranes of facepiece respirators by ionizing radiation, *J. Membr. Sci.*, 2021, 619, 118756
6. Del Pupo, S., Zupanič, E. *et al.*, Tuning graphene doping by carbon monoxide intercalation at the Ni(111) interface, *Carbon*, 2021, 176, 253–261
7. Nasour, B., Vilfan, A., Golestanian, R., Minimum dissipation theorem for microswimmers, *Phys. Rev. Lett.*, 2021, 126, 3, 034503
8. Hickey, D., Vilfan, A., Golestanian, R., Ciliary chemosensitivity is enhanced by cilium geometry and motility, *eLife*, 2021, 10, e66322
9. M. Klanjšek, Singlets singled out, *Nature Physics*, 2021, 17, 1081–1082
10. X. Chen, T. Yang, Q. Zhang, L. Q. Chen, V. Bobnar, C. Rahn, Q. M. Zhang, Topological structure enhanced nanostructure of high temperature polymer exhibiting more than ten times enhancement of dipolar response, *Nano Energy*, 2021, 88, 106225
11. Y. Tanama *et al.*, Robust coherent spin centers from stable azafullerene radicals entrapped in cycloparaphenylene rings, *Nanoscale*, 2021, 13, 47, 19946-19955

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Prvo znanstveno srečanje projekta Nanospace, NanoSpace – 1st Scientific Meeting, Velika predavalnica IJS, Ljubljana, 9. 11.–11. 11. 2023

Patenta

1. Matjaž Lukač, Franci Bajd, Marko Kazič, Zdenko Vižintin, Tadej Perhavec, Apparatus and method for tissue regeneration, US 11,648,417 B2, US Patent Office, 16. 5. 2023
2. Aswathy Vasudevan, Gregor Filipič, Janez Zavašnik, Uroš Cvelbar, Method for in-situ synthesis and deposition of metal oxide nanoparticles with atmospheric pressure plasma, EP 3 960 703 B1, European Patent Office, 7. 6. 2023

Nagrade in priznanja

1. izr. prof. dr. Andrej Zorko, APS Robert E.: Marshakova lektorska nagrada, Ameriško fizikalno društvo, ZDA

2. dr. Jeglič Peter, doc. dr. Erik Zupanič: Posebna nagrada za inovacije za gospodarstvo, 16. mednarodna konferenca o prenosu tehnologije (ITTC16), Ljubljana
3. prof. dr. Miha Ravnik: Zlata plaketa za izjemne zasluge pri razvijanju znanstvenega, pedagoškega ali umetniškega ustvarjanja ter za krepitev ugleda Univerze v Ljubljani, Ljubljana
4. dr. Tilen Knaflič: Nagrada za predstavitev posterja z naslovom: Spin-dimer ground state in the mixed-valence compound Rb4O6 as revealed by electron spin resonance The international workshop Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
2. ERC H2020 - LOGOS; Logična vezja iz ftonske mehke snovi
European Commission
prof. dr. Igor Muševič
3. P-LAYER - IJS; Najem opreme v C027 in prodaja opreme za orientacijo tekočih kristalov
P-layer
prof. dr. Igor Muševič
4. COST CA9108; HiSCALE - Visokotemperaturna superprevodnost za pospešitev prehoda energije
COST Association AISBL
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassanien
5. BIO-OPT-COMM; Optična komunikacija v živi nevronske mreži
HFSPO- International Human Frontier
doc. dr. Matjaž Humar
6. H2020 - ENGIMA; Inženiring nanostruktur z ogromno magneto-piezoelektrično in multikalorično funkcionalnostjo
European Commission
prof. dr. Zdravko Kutnjak
7. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Maja Remškar
8. H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
9. H2020 - QMatCh; Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji
European Commission
prof. dr. Denis Arčon
10. Prilagodljivo memristivno preklapljanje v mreži ogljikovih nanocerk za nevromorfno računanje
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassanien
11. Visokotemperaturne polimerne zmesi z močno povečanim električnim prebojnim poljem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Zdravko Kutnjak
12. Novi kvantni materiali s perspektive lokalnih prob
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Zorko
13. 3D tiskane komponente za optimizirano elektrolizo vode
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Janez Dolinšek
14. Topološke vzbuditve in kvazi delci v nematičnih tekočih kristalih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Samo Kralj
15. Proženje strjevanja krvi po izpostavitvi pljučnega epitelijskega nanodelcem in vitro
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Tilen Koklič
16. Plastoviti hibridni metalo-organski perovskiti: korelacija struktura - magnetizem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Zorko
17. OE - FerroChiral; Nastavljiva topološka kiralnost v feroelektričnih nanomaterialih
European Commission
prof. dr. Zdravko Kutnjak
18. OE - nanoPASS; Napovedovanje varnosti nanomaterialov brez testov na živalih
European Commission
doc. dr. Iztok Urbančič

19. OE - LibMOF; Visokozmogljiva sinteza in karakterizacija tankih filmov kovinsko-organskih materialov za zaznavanje hlapnih spojin
European Commission
prof. dr. Zdravko Kutnjak
20. DIGITAL EU; SiQUID - Vzpostavitev slovenske infrastrukture za kvantne komunikacije
European Commission
dr. Peter Jeglič
21. COST CA21126; NanoSpace - Ogljikove molekularne nanostrukture v vesolju; Znanstveni sestanek projekta Nanospace
COST Association AISBL
prof. dr. Denis Arčon
22. COST CA21144; Superprevodne nanouprave in kvantni materiali za koherentno manipulacijo
COST Association AISBL
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassanien
23. NATO - FRAPCOM; Prilagodljivi nano-feroelektriki za hitro hlajenje bojne elektronike
NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Zdravko Kutnjak
24. COST CA22105; BeSafeBeeHoney - Valorizacija čebeljih pridelkov in biomonitoring za varnost čebel in medu
COST Association AISBL
doc. dr. Anton Gradišek

PROGRAMI

1. Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov
prof. dr. Denis Arčon
2. Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur
prof. dr. Miha Ravnik
3. Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini
prof. dr. Janez Štrancar
4. Neravnovesna dinamika kvantnih sistemov
prof. dr. Denis Arčon
5. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Peter Jeglič

PROJEKTI

1. Fazni prehodi proti koordinaciji v večplastnih omrežjih
dr. Uroš Jagodič
2. Razvoj komponent za vzpostavitev nove evropske mreže za kvantno komunikacijo
dr. Peter Jeglič
3. Razvoj visokozmogljivih piezoelektričnih premazov za samodejno napajanje netkanin tekstilij uporabljenih v e-mobilnosti
prof. dr. Vid Bobnar
4. Vpliv mehanike in topologije membrane na celično ujetje bakterij, virionov in anorganskih delcev
Georgios Kordogiannis, Ph.D., Grčija
5. Neravnovesna koloidna topološka mehka snov
doc. dr. Žiga Kos
6. Programiranje RNA-proteinskih kondenzatov v sesalčjem razvoju
doc. dr. Iztok Urbančič
7. Piezofotonski kompoziti na osnovi dvodimenzionalnih materialov za ultrazvočno stimulacijo v bioloških sistemih (2D-UltraS)
doc. dr. Matjaž Humar
8. Stabilizacija in destabilizacija spinskih tekočin zaradi perturbacij
prof. dr. Andrej Zorko
9. Fizika Majoranovih fermionov v magnetih Kitaeva
doc. dr. Martin Klanjšek
10. Nova eksperimentalna metoda določitve kvantnih spinskih tekočin
prof. dr. Andrej Zorko
11. Topološka turbulenca v ograjenih kiralnih nematskih poljih
prof. dr. Miha Ravnik

12. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem
dr. Matej Pregelj
13. Pametna nanospektroskopija molekularnih dogodkov pri nevrodegeneraciji zaradi nanodelcev
doc. dr. Iztok Urbančič
14. Samooblikovane fotonske strukture iz tekočih kristalov
dr. Venkata Subba Rao Jampani
15. Napredna optična magnetometrija vrtninčnih niti v nekonvencionalnih superprevodnikih
prof. dr. Denis Arčon
16. Kvantno procesiranje fullerenskih kubitov z diamantnimi senzorji
prof. dr. Denis Arčon
17. Coulombska stanja v energijski reži superprevodnih kvantnih naprav
prof. dr. Denis Arčon
18. Spominske naprave na principu konfiguracije naboja in krmiljene s pomočjo SFQ pulzov
prof. dr. Andrej Zorko
19. Identifikacija ključnih dogodkov v živih celicah na podlagi mikroskopije
doc. dr. Iztok Urbančič
20. Spremembe nevro-mišično-fascialnega sistema pri sladkorni bolezni analizirane s 3D mikroskopijo in biomehanskimi testi
prof. dr. Igor Serša
21. Plazemsko aktivirani nanomehurčki: Nov pristop za učinkovito razkuževanje endoskopov
dr. Gregor Filipič
22. Antiferoelektrični materiali za hladilne in energetske elektronske aplikacije
dr. Nikola Novak
23. Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
dr. Boštjan Kokot
24. Anizotropen kvantni magnetizem novih materialov z redkimi zemljami
prof. dr. Andrej Zorko
25. Prepletena in delokalizirana staja mionov in jeder
doc. dr. Matjaž Gomilšek
26. Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovnega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerov
doc. dr. Andraž Rešetič
27. Razvoj integriranega mnogo kanalnega umetnega nosu za detekcijo raka
prof. dr. Igor Muševič
28. Razvoj koncepta za mehanistično napovedovanje fibroze in proženja koagulacije krvi, ki jo povzročajo vdihani materiali (uCellNet)
dr. Tilen Koklič
29. Kriptografsko varen generator naključnih števil
dr. Peter Jeglič
30. Ultrafini delci v urbanem okolju
prof. dr. Maja Remškar

31. SIMBION – EuBI
prof. dr. Igor Serša
32. Pogodba o sofinanciranju projekta SiQUID
Urad Vlade Republike Slovenije za informacijsko varnost, SI-EuroQCI
dr. Peter Jeglič
33. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
dr. Peter Jeglič
34. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Peter Jeglič
35. Ultrafini delci v urbanem okolju
Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo
prof. dr. Maja Remškar
36. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Janez Štrancar
37. Dnevi ECMetAC 2023
European CMetAC
prof. dr. Janez Dolinšek

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Razvoj in vzdrževanje rešitev na področju PHP in MS SQL Server
SRC, d. o. o.
prof. dr. Igor Muševič
2. L1-2607 Sofinanciranje L-projektov: Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovnega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerov
KMZ - Zalar Miran, s. p.
doc. dr. Andraž Rešetič
3. Raziskave in analiza novih molekularnih dogodkov in njihovih vzročno-posledičnih povezav in vitro
Infinite, d. o. o.
prof. dr. Janez Štrancar
4. Magnetno resonančno slikanje tablet v različnih medijih
Lek, d. d.
prof. dr. Igor Serša
5. Sofinanciranje L7-4535 „Razvoj koncepta za mehanistično napredovanje fibroze in proženja koagulacije krvi, ki jo povzročajo vdihani materiali (uCellNet9“
Infinite, d. o. o.
dr. Tilen Koklič
6. Sofinanciranje L7-4491 „Razvoj integriranega mnogo kanalnega umetnega nosu za detekcijo raka“
RLS Merilna Tehnika, d. o. o.
prof. dr. Igor Muševič

OBISKI

1. dr. Bar Laure, Univerza Libré v Bruslju, Bruselj, Belgija, 2. 9.–10. 9. 2023
2. Bastien Anezo, Univerza v Nantesu, Nantes, Francija, 3. 7.–12. 7. 2023, 5. 12.–23. 12. 2023
3. dr. Carla Bittencourt, Univerza v Monsu, Mons, Belgija, 15. 6.–27. 6. 2023
4. prof. dr. Diego Rubbi, Državni svet za znanstvene in tehnične raziskave (CONICT) in Nacionalna komisija za atomsko energijo CNEA, Bariloche, Argentina, 19. 11.–26. 11. 2023
5. prof. dr. Valentina Domenici, Oddelek za kemijo in industrijsko kemijo Univerze v Pisi, Pisa, Italija 20. 7.–6. 8. 2023
6. prof. El Marssi Mimoun, Univerza v Pikardiji Jules Verne, LPMC, Amiens, Francija, 27.–29. 12. 2023
7. Fabian Hotz, Univerza v Zürichu, Zürich, Švica, 9.–27. 1. 2023
8. Fabian Hotz, Univerza v Zürichu, Zürich, Švica, 16. 10.–27. 10. 2023
9. Valentine Jauquet, Univerza v Monsu, Mons, Belgija, 6. 3.–7. 4. 2023
10. Said Khardazi, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 7. 12. 2022–6. 1. 2023
11. Martin Klaczak, Univerza Jagiellonian v Krakovu in Univerza v Gdansk, 24.–30. 9. 2023
12. Hajji Lahoucine, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 7. 12. 2022–9. 1. 2023
13. Afaak Lakouader, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 4. 2.–28. 4. 2023
14. Jasmina Lazarević in Nenad Lazarević, Inštitut za fiziko v Beogradu, Beograd, Srbija, 27. 11.–30. 11. 2023
15. Ionis Lelidis, Univerza v Atenah, Atene, Grčija, 19.–21. 9. 2023
16. Bohdan Lev, Bogolyubov Institut za teoretsko fiziko, NAS Ukrajina in Institut za fiziko, NAS Ukrajina, Ukrajina, 13. 12. 2022–31. 8. 2023
17. Eduardo Llobet, Univerza v Tarragoni, Tarragona, Španija, 20. 2.–26. 2. 2023
18. Amjoud M'Barek, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 6.–13. 3. 2023
19. Daoud Mezzane, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 6.–13. 3. 2023
20. Mariusz Mrozek, Univerza Jagiellonian, Krakov, Poljska, 10.–17. 12. 2023
21. Igarashi Mutsuo, Oddelek za uporabno fiziko, Gunma National College za tehnologijo, Maebashi 371–8530, Japonska, 30. 5.–10. 6. 2023
22. Pajić, Rubčić in Barišić, Prirodoslovna fakulteta univerze v Zagrebu, Zagreb, Hrvaška, 6. 6. 2023

23. Pavol Pripoten, Slovak Univerza za tehnologijo v Bratislavi, Fakulteta za znanost in tehnologijo materialov v Trnavi, Trnava, Slovaška, 24.–28. 4. 2023
24. Anna Ryzhkova, ASML B.V., Nizozemska, 1.–16. 4. 2023
25. Pedro Sebastiao, Visoki tehnični inštitut, Univerza v Lizboni, Lizbona, Portugalska, 28. 5.–3. 6. 2023
26. Radoslaw Strzalka, AGH Univerza za znanost in tehnologijo, Krakov, Poljska, 3. 6.–2. 8. 2023
27. Szymon Starzonek, Inštitut za fiziko visokega tlaka Poljske akademije znanosti, Varšava, Poljska, 5.–14. 1. 2023
28. Stefan Ščepanovič, Univerza v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 2.–30. 10. 2023
29. Stefan Ščepanovič, Univerza v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 11.–20. 12. 2023
30. dr. Pavla Senjug, Oddelek za fiziko, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Zagrebu, 13.–31. 3. 2023
31. prof. Torben R. Jensen, Aarhus University, Danska; prof. Yaroslav Filinchuk, Katoliška univerza v Louvainu, Belgija in prof. Marek Polanski, Vojaška tehnološka univerza, Varšava, Poljska, 14. 12. 2023
32. Bojana Višić, Inštitut za fiziko v Beogradu, Beograd, Srbija, 27. 11.–3. 12. 2023
33. dr. Magdalena Wencka, Poljska akademija znanosti, Inštitut za molekularno fiziko, Poznan, Poljska, 15. 1. 2022–31. 12. 2023
34. Yoshiko Takenaka, Raziskovalni inštitut za trajnostno kemijo, AIST, Japonska, 12. 2.–29. 3. 2023
35. Marwa Zahid, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 18. 1.–22. 2. 2023
36. prof. Zhan Qiwen, Univerza v Šanghaju za znanost in tehnologijo, Šanghaj, Kitajska, 18.–20. 9. 2023
37. Zid Maha, Tunizija, 27. 2. 2023–31. 5. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Primož Koželj: Fizikalne lastnosti visokoentropijskih zlitin ter drugih novoodkritih kovinskih materialov, 13. 1. 2023
2. dr. Aleksander Matavž: Senzorji hlapnih organskih spojin na osnovi nanoporoznih tankih filmov, 27. 1. 2023

3. dr. Matjaž Gomilšek, Kvantni magnetizem, topologija in ab initio izračuni: Od frustracije do nedolocenosti, 3. 2. 2023
4. dr. Marion van Midden Mavrič: Kako ločiti prispevek topografije od elektronske in magnetne strukture površin z vrstičnim tipalnim mikroskopom?, 3. 3. 2023
5. dr. Yoshiko Takenaka, Raziskovalni inštitut za trajnostno kemijo, AIST, Tsukuba, Japonska: Samosestavljanje tekočega kristala in izziv za topološko spremembo, 17. 3. 2023
6. Tina Arh, mag. fiz., Eksperimentalni dokazi za kvantno spinsko tekočino: primer neodimovega heptatantalata, 31. 3. 2023
7. Katja Gosar, mag. fiz.: Kvantni spomin na osnovi hladnih cezijeveh atomov, 21. 4. 2023
8. RNd. Pavol Priputen, PhD, Inštitut za znanost o materialih, Slovaška tehnološka univerza, Trnava, Slovaška: Nenavaden red/nered v visokoentropijskih zlitinah Al-Co-Cu-Fe-Ni, 25. 4. 2023
9. Gregor Pirnat, mag. fiz., Metode na osnovi kapljičnih mikroresonatorjev za zaznavanje v mehkih in bioloških materialih, 19. 5. 2023
10. dr. Uroš Jagodič, Nastanek in lastnosti topoloških defektov v tekočih kristalih, 2. 6. 2023
11. dr. Radosław Strzałka, Fakulteta za fiziko in uporabno računalništvo, Univerza za znanost in tehnologijo AGH, Kraków, Poljska: Fononska in fasonska motnja v kvazikristalih – nedavni rezultati skupine AGH Kraków, 9. 6. 2023
12. dr. Luka Pirker, Interakcije med TMD-jem in kovinami, 29. 9. 2023
13. Dorota Dardas, PhD, Inštitut za molekularno fiziko, Poljska akademija znanosti, Poznan, Poljska: K omeni efektivnih elastičnih lastnosti modrih faz tekočih kristalov, 13. 10. 2023
14. Diego Rubi, Laboratorij za lasersko ablacijo, Inštitut za nanoznanost in nanotehnologijo, CONICET-CNEA, Buenos Aires, Argentina: Memristivne naprave na osnovi oksida z nestandardnimi mehanizmi, 24. 11. 2023
15. dr. Nenad Lazarević, Center za fiziko trdne snovi in nove materiale, Inštitut za fiziko Beograd, Univerza v Beogradu, Beograd, Srbija: Mreža, vrtenje in vzbujanje naboja v Fe (Se-S), 28. 11. 2023
16. Dragomira Majhen, PhD Laboratorij za celično biologijo in signalizacijo, Oddelek za molekularno biologijo, Ruder Bošković Institute, Zagreb, Hrvaška: Adenovirusni vektorji za prenos genov in cepljenje, 8. 12. 2023
17. prof. Torben R. Jensen, Interdisciplinarni nanoznanstveni center (iNANO) in oddelek za kemijo Univerze v Aarhusu, Aarhus, Danska: Hitra kationska prevodnost v trdnem stanju – osnova za razvoj novih tipov baterij, 13. 12. 2023
22. dr. Bojana Višić, The Flatlands beyond Graphene 2023 conference, Praga, Češka republika, 24. 9.–30. 9. 2023
23. mag. fiz. Rok Peklarič, 17th International Conference on Magnetic Resonance Microscopy, Singapur, 25. 8.–3. 9. 2023
24. dr. Andreja Jelen, 4th Conference on Material Science, YUCOMAT 2023, Herceg Novi, Črna gora, 3. 9.–9. 9. 2023
25. mag. fiz. Jaka Zaplotnik, 20th Optics of Liquid Crystals Conference, Szczecin, Poljska, 16. 9.–23. 9. 2023
26. mag. fiz. Jaka Zaplotnik, SPIE Optics + Photonics 2023, San Diego, ZDA, 19. 8.–24. 8. 2023
27. mag. fiz. Aljaž Kavčič, Poletna šola New Frontiers in Optical Technologies, Tampere, Finska, 6. 8.–12. 8. 2023
28. mag. fiz. Matevž Marinčič, 16th European Conference on Liquid Crystals, Rende, Italija, 9. 7.–16. 7. 2023
29. prof. dr. Vid Bobnar, IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference, NMDC 2023, Paestum, Italija, 21. 10.–26. 10. 2023
30. prof. dr. Andrej Zorko, Muon User Meeting 2023, Oxford, Velika Britanija, 10. 9.–13. 9. 2023
31. msc. Anton Hromov, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
32. dr. Matjaž Gomilšek, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
33. doc. dr. Martin Klanjšek, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials – vabljeno predavanje, Dresden, Nemčija, 17. 9.–21. 9. 2023
34. mag. fiz. Žiga Gosar, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–24. 9. 2023
35. prof. dr. Slobodan Žumer, Konferenca Optics of Liquid Crystals, Szczecin, Poljska, 17. 9.–23. 9. 2023
36. dr. Tilen Knaflič, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
37. dr. Matej Pregelj, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
38. mag. fiz. Tina Arh, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
39. dr. Mojca Urška Mikac, 33. simpozij Sekcije farmacevtskih tehnologov, Novo mesto, Slovenija, 15. 6. 2023
40. mag. fiz. Tina Arh, Meritve mionske spektroskopije, Villigen, Švica, 9. 7.–20. 7. 2023
41. dr. Marta Lavrič, 16th European Conference on Liquid Crystals, Unical – Rende, Italija, 7. 7.–21. 7. 2023
42. dr. MIMOZA Naseska, Konferenca EBCA 2023, Stockholm, Švedska, 29. 7.–6. 8. 2023
43. dr. Primož Koželj, FEMS Euromat2023, Frankfurt, Nemčija, 3. 9.–8. 9. 2023
44. doc. dr. Matjaž Humar, The Lasers in Micro, Nano and Bio Systems GRC, Mount Snow, ZDA, 3. 6.–11. 6. 2023
45. doc. dr. Iztok Urbančič, Konferenca nanoSAFE, Grenoble, Francija, 5. 6.–9. 6. 2023
46. dr. Tilen Koklič, Konferenca nanoSAFE, Grenoble, Francija, 5. 6.–9. 6. 2023
47. dr. Primož Koželj, 15th International Conference on Quasicrystals (ICQ15), Tel Aviv, Izrael, 17. 6.–24. 6. 2023
48. msc. Arkalekha Neogi, Poletna šola ZIDAS 2023, Lausanne, Švica, 15. 7.–22. 7. 2023
49. mag. inž. meh. Matjaž Malok, Udeležba na konferenci EAC2023 – European Aerosol Conf. 2023, Malaga, Španija, 30. 8. 2023–10. 9. 2023
50. mag. medk. menedž. Maša Kavčič Rosič, EARMA Conference Prague 2023, Praga, Češka republika, 23. 4. 2023–27. 4. 2023
51. mag. fiz. Pirnat Gregor, Lasers in Micro, Nano and Bio Systems Gordon Research Conference, West Dover, Vermont, ZDA, 2. 6. 2023–11. 6. 2023
52. dr. Andreja Jelen, Vabljeno predavanje na konferenci Joint CTMNM/NAGC, Spetses, Grčija, 7. 5. 2023–13. 5. 2023
53. prof. dr. Janez Dolinšek, Kongres EUROMAR 2023 – podpredsednik Groupement AMPERE, Glasgow, Velika Britanija, 9. 7. 2023–16. 7. 2023
54. mag. fiz. Katja Gosar, Udeležba na poletni šoli Ultracold Atoms and Molecules, Bad Honnef, Nemčija, 5. 8. 2023–13. 8. 2023
55. dr. Andraž Rešetič, 49th German Liquid Crystal Conference, Stuttgart, Nemčija, 21. 3. 2023–24. 3. 2023
56. dr. Peter Jeglič, udeležba na Quantum Computing Scalability Conference, Oxford, Velika Britanija, 29. 3. 2023–1. 4. 2023
57. dr. Matjaž Gomilšek, 8th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2023), Ölüdeniz – Fethiye, Turčija, 3. 5. 2023–12. 5. 2023
58. mag. fiz. Aljaž Kavčič, Lasers in Micro, Nano and Bio Systems Gordon Research Conference, West Dover, Vermont, ZDA, 2. 6. 2023–11. 6. 2023
59. dr. Matej Pregelj, obisk konferenca European Conference on Neutron Scattering 2023, Garching, Nemčija, 19. 3. 2023–22. 3. 2023
60. doc. dr. Matjaž Humar, Konferenca SPIE Photonics West, San Francisco, ZDA, 27. 1. 2023–4. 2. 2023
61. dr. Hassanien Abdelrahim Ibrahim, Participation in the 35th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPMN 2023), Kirchberg, Avstrija, 18. 3. 2023–24. 3. 2023
62. mag. inž. rad. tehnol. Rebeka Viltušnik, European congress of radiology, Dunaj, Avstrija, 28. 2. 2023–5. 3. 2023
63. prof. dr. Denis Arčon, udeležba na konferenci ACS2023 in delovni obisk na University of California, Florida, Kalifornija, ZDA, 17. 1. 2023–26. 1. 2023
64. doc. dr. Brigita Rožič, Electronic Materials and Applications 2023 (EMA2023), Orlando, Florida, ZDA, 16. 1. 2023–1. 2. 2023
65. prof. dr. Zdravko Kutnjak, Electronic Materials and Applications 2023 (EMA2023), Orlando, Florida, ZDA, 16. 1. 2023–1. 2. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. prof. dr. Denis Arčon, 12th Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 10. 12.–13. 12. 2023
2. dr. Primož Koželj, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 27. 11.–30. 11. 2023
3. PhD. Georgios Kordogiannis, 8th International Conference on the Development of Industrial Engineering: OPPORTUNITIES, POTENTIALS, CHALLENGES, Šmarješke Toplice, Slovenija, 23. 11. 2023
4. prof. dr. Slobodan Žumer, 20. Simpozij fizikov Univerze v Mariboru – 20. Božični simpozij fizikov, Maribor, Slovenija, 14. 12.–16. 12. 2023
5. Peter Mihor, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 27. 11.–30. 11. 2023
6. dr. Stanislav Vrtinik, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 27. 11.–30. 11. 2023
7. dr. Andreja Jelen, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 26. 11.–30. 11. 2023
8. Msc., Hrvaška, Julia Petrović, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 27. 11.–30. 11. 2023
9. dr. Jože Luzar, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 26. 11.–30. 11. 2023
10. prof. dr. Janez Dolinšek, Konferenca ECTAC Days 2023 – član organizacijskega komiteja, Kranjska Gora, Slovenija, 27. 11.–30. 11. 2023
11. mag. inž. meh. Matjaž Malok, Konferenca – Research & Innovation Transforming European Healthcare, Bruselj, Belgija, 15. 11.–17. 11. 2023
12. dr. Rok Podlpec, 5. mednarodni simpozij za biomateriale, Portorož, Slovenija, 13. 10. 2023
13. prof. dr. Denis Arčon, Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9.–22. 9. 2023
14. doc. dr. Iztok Urbančič, Konferenca Eurotox 2023, Ljubljana, Slovenija, 10. 9.–13. 9. 2023
15. prof. dr. Aleksander Zidanšek, 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), Dubrovnik, Hrvaška, 22. 9.–27. 9. 2023
16. dr. Tilen Koklič, Konferenca Eurotox 2023, Ljubljana, Slovenija, 10. 9.–13. 9. 2023
17. prof. dr. Slobodan Žumer, Konferenca Coarse-graining the finer structure of macromolecular interactions, Ljubljana, Slovenija, 27. 8.–30. 8. 2023
18. mag. fiz. Matevž Marinčič, Konferenca ISMC2023, Osaka, Japonska, 2. 9.–16. 9. 2023
19. doc. dr. Iztok Urbančič, Konferenca International Biophysics Congress, Izmir, Turčija, 6. 9.–9. 9. 2023
20. mag. prof. pouč. fiz. in mat. Vida Jurečič, Konferenca MIDEM 2023, Lipica, Slovenija, 27. 9.–29. 9. 2023
21. prof. dr. Tomaž Apih, International Hyperpolarization Conference, Leipzig, Nemčija, 23. 9.–29. 9. 2023

66. prof. dr. Andrej Zorko, vabljen predavanje na konferenci APS March Meeting 2023, Las Vegas, ZDA, 4. 3. 2023–12. 3. 2023
67. prof. dr. Andrej Zorko, udeležba na konferenci Magnetic Resonance of Correlated Electron Materials, Dresden, Nemčija, 17. 9. 2023–22. 9. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. dr. Hassanien Abdelrahim Ibrahim, zaključek razprave o bilateralnem projektu s Črno goro, Podgorica, Črna gora, 20. 12. 2023–22. 12. 2023
2. dr. Anna Razumnaya, izvajanje eksperimentov, teoretično modeliranje, obdelava in razprava o rezultatih, Amiens, Francija, 4. 12. 2023–4. 1. 2024
3. doc. dr. Iztok Urbančič, delovni sestanek evropskega projekta nanoPASS, München, Nemčija, 26. 11. 2023–27. 11. 2023
4. dr. Tilen Koklič, delovni sestanek evropskega projekta nanoPASS, München, Nemčija, 26. 11. 2023–27. 11. 2023
5. dr. Peter Jeglič, SiQUID–CroQCI, srečanje na temo meddržavnih kvantnih povezav, Zagreb, Hrvaška, 17. 11. 2023
6. prof. dr. Aleksander Zidanšek, udeležba na letni skupščini Rimskega kluba, Winterthur, Švica, 20. 11. 2023–21. 11. 2023
7. prof. dr. Aleksander Zidanšek, udeležba na WAAS Strategic Planning Process (SPP2), Atene, Grčija, 12. 11. 2023–15. 11. 2023
8. doc. dr. Martin Klanjšek, udeležba v komisiji za zagovor doktorskega dela in vabljen predavanje, Pariz, Francija, 8. 11. 2023–10. 11. 2023
9. prof. dr. Denis Arčon, delovni obisk, Peking, Kitajska, 18. 11. 2023–26. 11. 2023
10. dr. Matej Pregelj, meritve mionske spektroskopije in nevtronskega sipanja, Didcot, Velika Britanija, 18. 11. 2023–24. 11. 2023
11. prof. dr. Aleksander Zidanšek, udeležba na SDEWES Assembly, Zagreb, Hrvaška, 2. 11. 2023
12. mag. fiz. Tina Arh, meritve mionske spektroskopije in nevtronskega sipanja, Didcot, Velika Britanija, 14. 11. 2023–25. 11. 2023
13. prof. dr. Slobodan Žumer, srečanje usmerjalnega odbora CeFEMA, Lizbona, Portugalska, 18. 10. 2023–21. 10. 2023
14. dr. Matej Pregelj, meritve nevtronskega sipanja na kristalu spojine Cr(Se_{0.33}Br_{0.67})₂, Villigen, Švica, 8. 10. 2023–12. 10. 2023
15. prof. dr. Uroš Tkalec, obisk in predavanje na University of Bordeaux, Bordeaux, Francija, 10. 10. 2023–14. 10. 2023
16. mag. fiz. Aljaž Kavčič, meritve na Max Planck Institute, Erlangen, Nemčija, 8. 10. 2023–13. 10. 2023
17. dr. Anna Razumnaya, delovni obisk, Amiens, Francija, 18. 9. 2023–26. 9. 2023
18. dr. Peter Jeglič, udeležba na Humboldts Colloquium, Rim, Italija, 21. 9. 2023–23. 9. 2023
19. mag. fiz. Katja Gosar, delovni sestanek v okviru bilateralnega projekta J2–2514, Zagreb, Hrvaška, 13. 9. 2023
20. dr. Peter Jeglič, delovni sestanek v okviru bilateralnega projekta J2–2514, Zagreb, Hrvaška, 13. 9. 2023
21. doc. dr. Erik Zupanič, delovni sestanek v okviru bilateralnega projekta J2–2514, Zagreb, Hrvaška, 13. 9. 2023
22. mag. fiz. Rok Peklar, Alpine NMR Workshop – Recent advances in NMR, Mátrafüred, Madžarska, 14. 9. 2023–17. 9. 2023
23. mag. inž. rad. tehnol. Rebeka Viltušnik, Alpine NMR Workshop – Recent advances in NMR, Mátrafüred, Madžarska, 14. 9. 2023–17. 9. 2023
24. dr. Mojca Urška Mikac, Alpine NMR Workshop – Recent advances in NMR, Mátrafüred, Madžarska, 14. 9. 2023–17. 9. 2023
25. prof. dr. Igor Serša, Alpine NMR Workshop – Recent advances in NMR, Mátrafüred, Madžarska, 14. 9. 2023–17. 9. 2023
26. doc. dr. Anton Gradišek, CA22105 1st Management Committee meeting, Bruselj, Belgija, 25. 9. 2023–27. 9. 2023
27. MSc. Padmakumar Govindanunni, attending Rheology School, Leuven, Belgija, 10. 9. 2023–17. 9. 2023
28. prof. dr. Andrej Zorko, meritve mionske spektroskopije in nevtronskega sipanja, Didcot, Velika Britanija, 15. 11. 2023–24. 11. 2023
29. mag. fiz. Matevž Marinčič, udeležba na skupnem projektu s skupino z Univerze v Gentu, Gent, Belgija, 27. 8. 2023 – 30. 8. 2023
30. prof. dr. Igor Muševič, ocenjevanje MSCA PF 2023 projektov, Bruselj, Belgija, 25. 9. 2023–28. 9. 2023
31. prof. dr. Maja Remškar, delovni obisk z vabljenim predavanjem, Rennes, Francija, 19. 9. 2023–25. 9. 2023
32. dr. Tilen Koklič, obisk v okviru bilateralnega projekta BI–US/22–24–100, New Orleans, ZDA, 19. 8. 2023–3. 9. 2023
33. doc. dr. Iztok Urbančič, delovni sestanek v okviru EU projekta nanoPASS, München, Nemčija, 28. 6. 2023
34. dr. Tilen Koklič, delovni sestanek v okviru EU projekta nanoPASS, München, Nemčija, 28. 6. 2023
35. prof. dr. Slobodan Žumer, the XXXVIth Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Krakov, Poljska, 24. 9. 2023–29. 9. 2023
36. prof. dr. Zdravko Kutnjak, član komisije za zagovor doktorata Youness Hadoucha, Marakeš, Maroko, 5. 7. 2023–8. 7. 2023
37. prof. dr. Andrej Zorko, delovni obisk v okviru bilaterale BI–HR/23–24–024, Zagreb, Hrvaška, 3. 7. 2023–5. 7. 2023
38. MSc. Anton Hromov, meritve, Villigen, Švica, 9. 7. 2023–15. 7. 2023
39. mag. fiz. Katja Gosar, udeležba na delavnici Applications of Ultracold Rydberg Gases, Bad Honnef, Nemčija, 19. 7. 2023–29. 7. 2023
40. PhD. Georgios Kordogiannis, sodelovanje, seminar, prevzem in transport vzorcev, Dunkerque, Bruselj, Leuven, Francija, 17. 6. 2023–2. 7. 2023
41. mag. fiz. Tina Arh, meritve mionske spektroskopije, Villigen, Švica, 9. 7. 2023–20. 7. 2023
42. prof. dr. Denis Arčon, ISICXXI: 21st International Symposium on Intercalation Compounds, Nancy, Francija, 11. 6. 2023–15. 6. 2023
43. doc. dr. Uroš Tkalec, obisk in predavanje na University of Chicago in udeležba na GRC LC 2023, Chicago, Boston, Manchester (NH), ZDA, 20. 6. 2023–1. 7. 2023
44. MSc., Pakistan Anwar Abdur Rehman, FoodTraNet meeting & Summer School Advanced solutions in food production and safety, Almeria, Španija, 16. 6. 2023–24. 6. 2023
45. dr. Tilen Knaflič, 60-letnica delovanja EPR laboratorija, Zagreb, Hrvaška, 6. 6. 2023
46. prof. dr. Denis Arčon, 60-letnica delovanja EPR laboratorija, Zagreb, Hrvaška, 6. 6. 2023
47. mag. fiz. Tina Arh, delovni obisk v okviru bilateralnega projekta BI–HR/23–24–014, Zagreb, Hrvaška, 8. 5. 2023
48. prof. dr. Vid Bobnar, obisk v okviru slovensko-ameriškega bilateralnega projekta BI–US/22–24–054, Pennsylvania, ZDA, 20. 8. 2023–5. 9. 2023
49. dr. Matej Pregelj, Meritve mionske spektroskopije, Villigen, Švica, 10. 7. 2023–14. 7. 2023
50. dr. Ibrahim Hassanien Abdelrahim, vabljen predavanje na Superconductivity and Magnetism in Two Dimensional Films and Heterostructures, Bath, Velika Britanija, 29. 8. 2023–1. 9. 2023
51. prof. dr. Andrej Zorko, delovni obisk v okviru bilateralnega projekta BI–HR/23–24–014, Zagreb, Hrvaška, 8. 5. 2023
52. prof. dr. Andrej Zorko, Meritve z mionsko spektroskopijo, Villigen, Švica, 6. 7. 2023– 16. 7. 2023
53. prof. dr. Aleksander Zidanšek, Aktivna udeležba na dogodku Student training for validation of RESPO X application, Barcelona, Španija, 22. 4. 2023–28. 4. 2023
54. doc. dr. Anton Gradišek, Znanstveni obisk znotraj projekta COST SensorFINT CA19145, Ankara, Turčija, 16. 5. 2023–23. 5. 2023
55. prof. dr. Slobodan Žumer, Aktivna vloga v srečanju odbora European Physical Journal, Zürich, Švica, 20. 4. 2023–21. 4. 2023
56. prof. dr. Samo Kralj, delo na bilateralnem projektu BI–US/22–24–168 in predavanje na Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, ZDA, 14. 5. 2023–19. 5. 2023
57. prof. dr. Andrej Zorko, Meritve EPR v visokih magnetnih poljih, BI–US/22–24–065, Tallahassee, ZDA, 12. 8. 2023–27. 8. 2023
58. doc. dr. Anton Gradišek, delovni obisk, vabljeni seminar, Lizbona, Portugalska, 17. 4. 2023–24. 4. 2023
59. PhD., Indija Sharma Vandna, delovni obisk, Chandigarh, Indija, 26. 4. 2023–31. 5. 2023
60. mag. fiz. Aljaž Kavčič, sodelovanje, Erlangen, Nemčija, 19. 3. 2023–31. 3. 2023
61. prof. dr. Slobodan Žumer, odprtje WPI SKCM2 topological network v Hiroshimi kot član svetovalnega odbora + obisk Uni Tokyo in Kyoto, Hiroshima, Kyoto, Tokyo, Japonska, 12. 3. 2023–27. 3. 2023
62. dr. Hassanien Abdelrahim Ibrahim, Participation in the International meeting on superconducting quantum materials and nanodevices, Budva, Črna gora, 17. 4. 2023–21. 4. 2023
63. PhD. Georgios Kordogiannis, sodelovanje, seminar, načrtovanje oddaje bilateralnega projekta, Praga, Češka republika, 26. 3. 2023–1. 4. 2023
64. doc. dr. Iztok Urbančič, Focus on Microscopy, Porto, Portugalska, 1. 4. 2023–6. 4. 2023
65. doc. dr. Uroš Tkalec, Udeležba na panelu ocenjevalcev projektov za poljsko raziskovalno agencijo, Krakov, Poljska, 1. 3. 2023–4. 3. 2023
66. dr. Tilen Knaflič, EPR meritve v visokem magnetnem polju, Dresden, Nemčija, 12. 3. 2023–18. 3. 2023
67. PhD., Anna Francija Razumnaya, NEUROCOMEN 2023 in delovni obisk, San Carlos de Bariloche, Buenos Aires, Argentina, 13. 3. 2023–8. 4. 2023
68. PhD., Anna Francija Razumnaya, The American Physical Society's March Meeting 2023, Las Vegas, ZDA, 4. 3. 2023–13. 3. 2023
69. prof. dr. Slobodan Žumer, delovni sestanek vodstvene COST EUTOPIA skupine, Benetke, Italija, 23. 1. 2023–25. 1. 2023
70. doc. dr. Iztok Urbančič, delovni sestanek kick-off meeting evropskega projekta nanoPASS, München, Nemčija, 30. 1. 2023–31. 1. 2023
71. dr. Tilen Koklič, delovni sestanek kick-off meeting evropskega projekta nanoPASS, München, Nemčija, 30. 1. 2023–31. 1. 2023
72. mag. fiz. Žiga Gosar, meritve, Sendai, Japonska, 24. 2. 2023–6. 3. 2023
73. dr. Primož Koželj, Meritev + izobraževanje o Mössbauerjevi spektroskopiji, CeFe₉Si₄, Nancy, Francija, 30. 1. 2023–3. 2. 2023
74. prof. dr. Zdravko Kutnjak, Workshop NEUROCOMEN–2023 in obisk Institut of Nanoscience and Nanotechnology, San Carlos de Bariloche, Argentina, 13. 3. 2023–29. 3. 2023
75. dr. Tadej Mežnaršič, obisk skupine prof. Cheng China, Chicago, ZDA, 21. 1. 2023–28. 1. 2023
76. dr. Peter Jeglič, obisk skupine prof. Cheng China, Chicago, ZDA, 21. 1. 2023–26. 1. 2023
77. prof. dr. Igor Muševič, Zaključni panel ocenjevanja raziskovalnih mrež v okviru razpisa MSCA DN 2022, Bruselj, Belgija, 5. 2. 2023–11. 2. 2023
78. prof. dr. Andrej Zorko, Srečanje komisije SmuS Scientific Advisory Committee, Baden, Švica, 24. 1. 2023–27. 1. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Tomaž Apih
2. **prof. dr. Denis Arčon, znanstveni svetnik - vodja odseka**
3. *prof. dr. Denis Arčon*, znanstveni svetnik - vodja odseka, odšel 1. 10. 2023*
4. prof. dr. Vid Bobnar, znanstveni svetnik
5. prof. dr. Janez Dolinšek*, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
6. dr. Gregor Filipič
7. doc. dr. Matjaž Gomilšek
8. doc. dr. Anton Gradišek
9. dr. Alan Gregorovič
10. Abdelrahim Ibrahim Hassanien, doktor znanosti
11. doc. dr. Matjaž Humar
12. Venkata Subba Rao Jampani, PhD.
13. dr. Peter Jeglič
14. dr. Andreja Jelen
15. doc. dr. Martin Klanjšek
16. dr. Tilen Koklič
17. Georgios Kordogiannis, PhD., Grčija
18. doc. dr. Žiga Kos*
19. doc. dr. Primož Koželj
20. prof. dr. Samo Kralj*, znanstveni svetnik
21. prof. dr. Zdravko Kutnjak, znanstveni svetnik
22. dr. Aleksander Matavž
23. dr. Mojca Urška Mikac
24. doc. dr. Aleš Mohorič*
25. prof. dr. Igor Muševič*, znanstveni svetnik
26. dr. Nikola Novak
27. dr. Andriy Nych
28. doc. dr. Dušan Ponikvar*
29. dr. Matej Pregelj
30. prof. dr. Miha Ravnik*, znanstveni svetnik
31. Anna Razumnaya, PhD., Francija
32. prof. dr. Maja Remškar, znanstveni svetnik
33. doc. dr. Andraž Rešetič
34. doc. dr. Brigita Rožič
35. dr. Anna Ryzhkova
36. prof. dr. Igor Serša, znanstveni svetnik
37. *Vandna Sharma, PhD., Indija, odšla 21. 11. 2023*
38. prof. dr. Miha Škarabot
39. prof. dr. Janez Štrancar*
40. prof. dr. Uroš Tkalec*
41. dr. Polona Umek, znanstveni svetnik
42. doc. dr. Iztok Urbančič
43. dr. Herman Josef Petrus Van Midden
44. Mahendran Vellaichamy, PhD., Indija
45. *doc. dr. Jernej Vidmar*, odšel 1. 7. 2023*
46. *doc. dr. Andrej Vilfan, odšel 2. 9. 2023*
47. dr. Bojana Višič
48. dr. Stanislav Vrtnik
49. prof. dr. Aleksander Zidanšek
50. prof. dr. Andrej Zorko, znanstveni svetnik
51. doc. dr. Erik Zupanič
52. prof. dr. Slobodan Žumer, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

53. dr. Franci Bajd*
 54. dr. Izidor Benedičič
 55. *dr. Apparao Gudimalla, odšel 1. 4. 2023*
 56. dr. Uroš Jagodič
 57. dr. Tilen Knaflič
 58. dr. Hana Kokot
 59. dr. Boštjan Kokot
 60. *Zuhail Kottoli Poyil, PhD., Indija, odšel 1. 3. 2023*
 61. dr. Marta Lavrič
 62. dr. Jože Luzar
 63. Deepshika Malkar, PhD., Indija
 64. dr. Tadej Mežnaršič
 65. dr. Maruša Mur
 66. dr. Mimoza Naseska
 67. dr. Andrej Petelin*
 68. dr. Luka Pirkar
 69. dr. Jaka Pišljar
 70. dr. Rok Podlipec
 71. Yuliia Shyshkina, PhD, Ukrajina
 72. dr. Marion Antonia Van Midden Mavrič
- ### Mlajši raziskovalci
73. Abdur Rehman Anwar, MSc., Pakistan

74. Tina Arh, mag. fiz.
 75. dr. Devid Črešnar
 76. *Nikita Derets, Bakalvr, Ruska federacija, odšel 1. 9. 2023*
 77. dr. Darja Gačnik
 78. Žiga Gosar, mag. fiz.
 79. Katja Gosar, mag. fiz.
 80. Anton Hromov, Msc.
 81. Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat.
 82. Aljaž Kavčič, mag. fiz.
 83. Zala Korenjak, mag. fiz.
 84. Benjamin Koroševič Koser, mag. lab. biomed.
 85. *Darin Lah, mag. fiz., odšel 1. 10. 2023*
 86. Matjaž Malok, mag. inž. meh.
 87. mag. Bojan Marin*
 88. Matevž Marinčič, mag. fiz.
 89. Maj Mejak, mag. fiz.
 90. Matic Morgan, mag. prof. pouč. fiz. in mat.
 91. Arkalekha Neogi, Msc., Indija
 92. Rok Peklar, mag. fiz.
 93. Julia Petrovič, Msc., Hrvaška
 94. Jure Pirman, mag. fiz.
 95. Gregor Pirnat, mag. fiz.
 96. Anja Pogačnik Krajnc, mag. fiz.
 97. Linsy Jane Selvin Robert, Msc
 98. dr. Rebeka Viltušnik
 99. Maha Zid, MSc., Tunizija
- ### Strokovni sodelavci
100. Petra Čotar, mag. fiz.
 101. Urška Gazdag, mag. kem.
 102. Maša Kavčič, mag. medk. menedž.
 103. Ana Krišelj, mag. biokem.
 104. Ivan Kvasič, univ. dipl. inž. el.
 105. *Blaž Mencinger, MSc, Nizozemska, odšel 5. 5. 2023*
 106. Jaka Močivnik, dipl. inž. meh. (VS)
 107. *Govindanunni Padmakumar, Msc., Indija, odšel 1. 10. 2023*
 108. Peter Ropač*, mag. fiz.
 109. Cody Frank Tripp, MSc., ZDA
 110. Jaka Zaplotnik*, mag. fiz.
- ### Tehniški in administrativni sodelavci
111. Dražen Ivanov
 112. Janez Jelenc, dipl. inž. fiz.
 113. *Davorin Kotnik, upokojitev 1. 7. 2023*
 114. Vesna Lopatič, mag. angl.
 115. Silvano Mendizza
 116. Peter Mihor
 117. Janja Milivojevič
 118. Ana Sepe, inž. fiz.
 119. Marjetka Tršinar

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. A. F. Ioffe Physico-Technical Institute, Sankt Peterburg, Ruska federacija
2. AEROSOL razvoj in proizvodnja znanstvenih instrumentov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. AMES, d. o. o., Brezovica pri Ljubljani, Slovenija
4. Balder, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
5. BASF, Heidelberg, Nemčija
6. Ben Gurion University, Beersheba, Izrael
7. BIA SEPARATIONS, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
8. Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman, Thiais, Francija
9. Centre national de la recherche scientifique, Laboratory de Marseille, Marseille, Francija
10. Chalmers University of Technology, Physics Department, Göteborg, Švedska
11. Clarendon Laboratory, Oxford, Velika Britanija
12. CosyLab, d. d., Ljubljana, Slovenija
13. Department of Chemistry, College of Humanities and Sciences, Nihon University, Tokio, Japonska
14. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
15. Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Nemčija
16. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lozana, Švica
17. Eidgenössische Technische Hochschule - ETH, Zürich, Švica
18. Elettra (Synchrotron Light Laboratory), Bazovica, Italija
19. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
20. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, Španija
21. Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznanj, Poljska
22. Florida State University, Florida, ZDA

23. Forschungszentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
24. Gunma National College of Technology, Maebashi, Japonska
25. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden, Nemčija
26. High Magnetic Field Laboratory, Nijmegen, Nizozemska
27. High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida, ZDA
28. High-Magnetic-Field Laboratory, Grenoble, Francija
29. Humboldt Universität Berlin, Institut für Biologie/Biophysik, Berlin, Nemčija
30. Ilie Murguescu Institute of Physical Chemistry of the Romanian Academy, Bukarešta, Romunija
31. Infineon Technologies Austria AG, Dunaj, Avstrija
32. Infinite, d. o. o., Limbuš, Slovenija
33. Institut für Biophysik und nanosystemforschung OAW, Gradec, Avstrija
34. Institut für Experimentalphysik der Universität Wien, Dunaj, Avstrija
35. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
36. Institut za biofiziko, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
37. Institut za kristalografijo Ruske akademije znanosti, Moskva, Rusija
38. Institut za Teoretično fiziko univerze v Göttingenu, Göttingen, Nemčija
39. Institute of Electronic Materials Technology, Varšava, Poljska
40. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznanj, Poljska
41. Instituto Superior Tecnico, Departamento de Fisica, Lizbona, Portugalska
42. Instrumentation Technologies, d. d., Solkan, Slovenija
43. International Center for Theoretical Physics, Trst, Italija
44. ISIS, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, Velika Britanija
45. Jean Rouxel Institute of Materials in Nantes, Nantes, Francija
46. Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, ZDA
47. Kimberly Clark, Atlanta, ZDA
48. King's College, London, Velika Britanija
49. Klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
50. KMZ Zalar Miran, s. p., CNC obdelava kovin in drugih materialov, Ljubljana, Slovenija
51. Korea Basic Science Institute, Daejeon, Južna Koreja
52. Krka, tovarna zdravil, d. d., Novo mesto, Slovenija
53. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska
54. Kyung Hee University of Suwon, Impedance Imaging Research Center, Seul, Južna Koreja
55. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
56. Liquid Crystal Institute, Kent, Ohio, ZDA
57. Lotrič Certificiranje, d. o. o., Železniki, Slovenija
58. LPKF LASER & ELECTRONICS, d. o. o., Naklo, Slovenija
59. Max Planck Institut, Dresden, Nemčija
60. Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, ZDA
61. Melamin kemična tovarna, d. d., Kočevje, Slovenija
62. Merck KGaA, Darmstadt, Nemčija
63. Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
64. MH Hannover, Hannover, Nemčija
65. Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, Slovenija
66. Nanotul, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
67. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Physics, Kijev, Ukrajina
68. National Center for Scientific Research Demokritos, Aghia Paraskevi Attikis, Grčija
69. National Institute for Research in Inorganic materials, Tsukuba, Japonska
70. Nuklearni Institut Vinča, Beograd, Srbija
71. Optotek, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
72. Oxford University, Department of Physics, Department of Materials, Oxford, Velika Britanija
73. Paul Scherrer Institut, Villigen, Švica
74. Politecnico di Torino, Dipartimento di Fisica, Torino, Italija
75. Radboud University Nijmegen, Research Institute for Materials, Nijmegen, Nizozemska
76. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Žeja pri Komendi, Slovenija
77. Rwth Aachen University, Aachen, Nemčija
78. School of Physics, Hyderabad, Andhra Pradesh, Indija
79. SISSA, Trst, Italija
80. SRC sistemske integracije, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
81. State College, Pennsylvania, ZDA
82. Stelar, Mede, Italija
83. Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, Reka, Hrvaška
84. Sveučilište u Zagrebu, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvaška
85. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
86. Technical University of Catalonia, Barcelona, Španija
87. Tehnična Univerza Dunaj, Dunaj, Avstrija
88. TELA merilni sistemi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
89. The Geisel School of Medicine at Dartmouth, Hanover, ZDA
90. The Max Delbrück Center for Molecular Medicine in Berlin, Berlin, Nemčija
91. The University of Texas at Dallas, Dallas, ZDA
92. Tohoku University, Sendai, Japonska
93. Tokyo University, Bunkyo, Tokio, Japonska
94. UNCOSS, Bruselj, Belgija
95. Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Pisa, Italija
96. Universität Freiburg, Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg, Nemčija
97. Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Nemčija
98. Universität Regensburg, Regensburg, Nemčija
99. Université de la Méditerranée, Marseille, Francija
100. Université de Nice, Nica, Francija
101. Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija
102. Université de Mons, Mons, Belgija
103. Université Paris Sud, Pariz, Francija
104. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
105. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
106. University of California at Irvine, Beckman Laster Institute and Medical Clinic, Irvine, Kalifornija, ZDA
107. University of Duisburg, Duisburg, Nemčija
108. University of Durham, Durham, Velika Britanija
109. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
110. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija
111. University of Linz, Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, Linz, Avstrija
112. University of Liverpool, Liverpool, Velika Britanija
113. University of Loughborough, Loughborough, Velika Britanija
114. University of Provence, Marseille, Francija
115. University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japonska
116. University of Utah, Department of Physics, Salt Lake City, Utah, ZDA
117. University of Waterloo, Department of Physics, Waterloo, Ontario, Kanada
118. University of Zürich, Zürich, Švica
119. Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
120. Univerza v Monsu, Mons, Belgija
121. Univerza v Münchenu in MPQ, München, Nemčija
122. Univerza v Pavii, Pavia, Italija
123. Univerza v Severni Karolini, Chapel Hill, ZDA
124. Univerza v Siscinsinu, Madison, ZDA
125. Wageningen University, Laboratory of Biophysics, Wageningen, Nizozemska
126. Weizman Institute, Rehovot, Izrael
127. Yonsei University, Seul, Južna Koreja
128. Zavod RS za transfuzijsko medicine, Ljubljana, Slovenija
129. Železarna Ravne, Ravne na Koroškem, Slovenija

Dejavnost enote za plinsko elektroniko obsega veliko različnih področij, od znanosti o plinih in plinskih razelektritvah, plazemske nanoznanosti, plazemske biologije in biomedicine, napredne senzorike, elektronike površin in kristalov do napredne vakuumске znanosti in tehnologije. V okviru teh raziskujemo različne plinske in plazemske sisteme ter njihovo uporabo na različnih področjih, ki so pomembna za napredek človeštva. Raziskovalni dosežki so zato precej raznoliki. Najpomembnejši dosežki in napredek v raziskavah so opisani v nadaljevanju.

Glavne dejavnosti na odseku zajemajo med seboj povezana raziskovalna področja, kot so znanost o plinih in plinastih razelektritvah, plazemska nanoznanost, obdelava in sinteza nanomaterialov, plazma kemija, plazemska elektrokemija in kataliza, plazemska biomedicina in biotehnologija, plinski senzorji, raziskave na polju v nanostrukturiranih materialih, optoelektroniki, vakuumске znanosti, načrtovanje vakuumskih sistemov, vakuumska toplotna izolacija in druge nastajajoče teme, pomembne za manipulacijo atomov in elektronov. Te raziskovalne teme so združene za reševanje različnih problemov in spopadanje z velikimi izzivi v znanosti in tehnologiji ter za podporo novih nastajajočih področij raziskav.



Vodja:

prof. dr. Uroš Cvelbar

Deaktivacija biofilmov s plazemsko aktivirano vodo (PAW)

Fleksibilni endoskopi, ki so sestavni del sodobne medicinske prakse za diagnosticiranje in obravnavo različnih gastrointestinalnih stanj, imajo notranje kanale, ki vodijo k razvoju biofilma. Tveganje navzkrižne kontaminacije se pojavi, ko je ponovna obdelava endoskopa nepopolna ali neučinkovita, kar poudarja nujnost novih pristopov dezinfekcije. Ta študija raziskuje učinkovitost protibiofilmske metode dvostopenjske dezinfekcije z uporabo hladne plazme pod atmosferskim tlakom in plazemsko aktivirane vode. Rezultati kažejo, da je ta kombinirani pristop dosegel znatno zmanjšanje za 5,72 log v klinično pomembnih mešanih biofilmih znotraj ozkih lumnov standardnega endoskopa. Za oceno morebitne poškodbe površine zaradi postopka dekontaminacije so bili uporabljeni XPS, FTIR in AFM, ki so razkrili minimalne spremembe v površinski sestavi ali morfologiji, tudi po več ciklih dezinfekcije. Poleg tega se vezava bakterij na obdelane površine ni razlikovala od originalnih površin. Rezultati so bili objavljeni v *Applied Surface Science*, 623, 156936 (2023).

pH senzor širokega razpona v tekstilih, barvanih z azo barvili

Tekstil igra ključno vlogo pri razvoju lahkih in prilagodljivih zaslonov, ki so bistveni za pametne materiale. Med te spadajo predvsem halokromne tkanine, za katere je značilno spreminjanje barve glede na pH. Tovrstne tkanine temeljijo na molekulah barvil, ki so občutljiva na pH. Pred kratkim je bil uveden nov razred 2-aminoimidazol azo barvil, ki imajo posebno molekularno sestavo. V predstavljeni študiji smo za funkcionalizacijo svilene tkanine prvič uporabili tako barvilo (AzoIz.Pip). Halokromne lastnosti so bile analizirane tako v vodni raztopini kot tudi po funkcionalizaciji svile. Izvedene so bile temeljite analize z uporabo UV-Vis spektrov, barvne jakosti (K/S), barvne razlike (ΔE), koordinat CIE-Lab* in UV zaščitnega faktorja (UPF) na raztopinah in na tkaninah. Postopek barvanja smo optimizirali, halokromne lastnosti in reverzibilnost pa ovrednotili v univerzalnih Britton–Robinsonovih pufrih (s pH od 3 do 12) in umetnih telesnih tekočinah. AzoIz.Pip je pokazal svetle barve in privlačne halokromne lastnosti s hipsokromnim premikom od modre (557 nm) do škrlatne (536 nm) v puferskih vodnih raztopinah. Podobno je funkcionalizirana svila pokazala premik valovne dolžine največje vrednosti K/S s 590 nm na 560 nm z naraščajočim pH. Svilena tkanina je pokazala visoko afiniteto za AzoIz.Pip, kar je zagotovilo dodatno stabilizacijo barve in preprečilo izgubo barve, opaženo v raztopini barvila pri alkalnem pH po 24 urah. Barvna reverzibilnost se je ohranila do četrtega cikla. Prav tako so testi obstojnosti pokazali obetavne rezultate, razen obstojnosti pri pranju. Vrednotenje citotoksičnosti izvlečka svilene tkanine je pokazalo, da je bila sposobnost preživetja celic HaCaT zmanjšana na < 70 % le pri koncentracijah barvila 64 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ali več. Nižje koncentracije pa so se izkazale za zelo učinkovite za halokromne lastnosti svile. Ti materiali so se izkazali kot dragocena orodja za razvoj senzorjev na različnih področjih, kot so biomedicina, pakiranje, filtracija, kmetijstvo, zaščitna oblačila, šport, kamuflaža, arhitektura in oblikovanje. Rezultati so bili objavljeni v *Polymers*, 15(7), 1730 (2023).

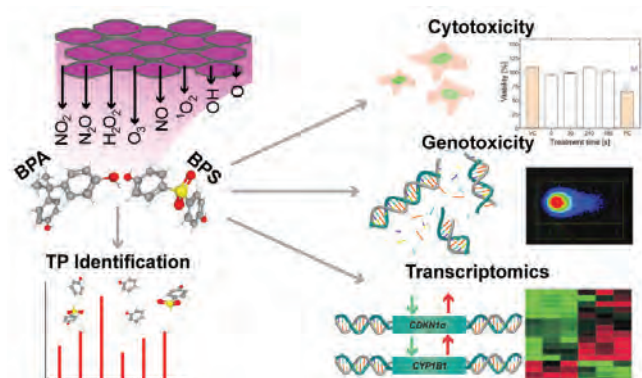
Nov nanofotokatalizator za razgradnjo organskih onesnaževal

V tej študiji smo s hidrotermalno/solvotermalno metodo in izpostavljeni termični obdelavi pri 300 °C pripravili nanokompozite titanovega dioksida in reduciranega grafenovega oksida (TiO₂@rGO) z različnimi masnimi odstotki rGO (4, 8 in 16 mas %). Tako pripravljenim nanokompozitom smo ovrednotili njihovo učinkovitost za odstranjevanje barvila metilen-modro (MB) pri simulirani sončni svetlobi in naravni sončni svetlobi. Podrobno smo raziskali strukturne, morfološke, kemijske in optične lastnosti sintetiziranih nanokompozitov TiO₂@rGO. Rezultati nanokompozitnih materialov na osnovi grafena so pokazali prisotnost interakcij, zlasti vezave Ti–O–C, kar potrjuje uspešno integracijo TiO₂ in rGO in tvorbo nanokompozitov TiO₂@rGO. Vključitev rGO je omogočila povečanje specifične površine, zmanjšanje energije pasovne vrzeli in izboljšanje učinkovitosti fotokatalitske razgradnje MB iz vode, v primerjavi z nanodelci TiO₂. Rezultati fotokatalitske aktivnosti kažejo, da ima količina rGO v nanokompozitih TiO₂@rGO pomembno vlogo pri različnih fotokatalitskih parametrih, vključno z začetno koncentracijo barvila, koncentracijo katalizatorja, vodnim okoljem in virom svetlobe. Naši rezultati kažejo, da je priprava nanokompozita z 8 mas.% rGO povzročila optimalno fotokatalitično zmogljivost za razgradnjo MB (10 mg·L⁻¹), pri čemer je bil odstotek razgradnje 99,20 dosežen po 2 urah. Poleg tega študija kaže, da nanokompozit TiO₂@rGO_8 wt% ohranja fotokatalitično aktivnost nad 90 % v treh zaporednih ciklih. Rezultati so bili objavljeni v *Molecules*, 28(21), 7326 (2023).

Razgradnja vodnih onesnaževal z uporabo atmosferske plazme

V letu 2023 smo nadaljevali raziskave potencialov za uporabo plazemske tehnologije za čiščenje odpadnih vod. Bisfenoli so poznani po svoji strupenosti in morebitnih grožnjah okolju in javnemu zdravju, zato smo jih uporabili kot modelne molekule za testiranje učinkovitosti hladnih atmosferskih zračnih plazem (CAP) za njihovo razgradnjo. V tej študiji smo s plazmo obdelali molekuli bisfenola A (BPA) in bisfenola S (BPS). Vzorcem smo dodali metanol in tako simulirali okoljske pogoje. Vzorce smo različno dolgo izpostavili plazmi. Po 480-sekundni izpostavitvi se

je molekula BPA hitreje razgradila (75–85 %) v primerjavi z molekulo BPS (> 25 %). Analiza plazemskih vrst je pokazala, da je prisotnost lovilca radikalov vplivala na nastanek reaktivnih kisikovih in dušikovih plazemskih vrst. Toksikološka ocena *in vitro* z uporabo celičnega modela HepG2 je pokazala, da je bila mešanica transformacijskih produktov, ki nastanejo s CAP, manj strupena od prvotne molekule BPA in BPS. To nakazuje, da CAP učinkovito razgradi bisfenole na varen način. Študija je tudi opredelila poti transformacije za obe spojini, kar je zagotovilo vpogled v okolju prijazno razgradnjo bisfenolov s pomočjo plazemske tehnologije. Študija je bila narejena v sodelovanju z raziskovalci Odsekov F6, O2 (IJS) NIB-a, Ljubljana, ter partnerji iz Grčije; International Hellenic University, Aristotle University of Thessaloniki, Center for Interdisciplinary Research and Innovation (CIRI-AUTH) in York plasma institute, Združeno kraljestvo. Rezultati študije so bili objavljeni v *Journal of Hazardous Materials*, 454, 131478 (2023).



Slika 1: CAP razgradnja in testiranje toksičnosti transformacijskih produktov

Priprava senzorja, ki temelji na površinski plazmonski resonanci (SPR)

S partnerji iz Izraela smo sodelovali pri razvoju senzorja, ki temelji na površinski plazmonski resonanci (SPR) in je namenjen spremljanju razvoja bakterijskega biofilma. Biofilmi so pogosto težava v različnih panogah in predstavljajo izzive na številnih področjih, kot so proizvodnja hrane, medicinski pripomočki, pomorske aplikacije in čistilne naprave. Nedavni napredek na področju senzorjev, ki ne potrebujejo posebej označenih molekul, posebej z uporabo lokalizirane in razširjene površinske plazmonske resonance (SPR), se je pokazal kot zelo obetavna metoda za spremljanje nastanka biofilma. Vendar pa se tradicionalni substrati SPR iz plemenitih kovin soočajo z omejitvami pri odkrivanju velikih entitet, kot so biofilmi, ki lahko zrastejo do mikrometerske debeline. Ta študija uvaja novo plazmonsko strukturo izolator-kovina-izolator (IMI) (SiO₂-Ag-SiO₂) z izboljšano globino penetracije, uporabljeno v prenosni napravi SPR ter z uporabo formata divergentnega žarka z eno valovno dolžino Kretschmannove konfiguracije. Namenski algoritem za zaznavanje linij SPR omogoča spremljanje sprememb lomnega količnika in kopičenja biofilma v realnem času z natančnostjo do 10⁻⁷ RIU. Optimizirana struktura IMI kaže penetracijo, odvisno od valovne dolžine in vpadnega kota, pri čemer doseže globino penetracije več kot 4 μm pri 635 nm, v nasprotju z globino ~200 nm substrata iz tankega zlatega filma. Predlagana struktura biofilma povzroči značilno padanje lomnega količnika z oddaljenostjo od vmesnika, pojasnjuje opaženo debelino nasičenosti biofilma pri 6–7 μm po 24 urah rasti, s približno 63 % volumna živih celic. V kontekstu razgradnje biofilma s pomočjo plazme je substrat IMI pokazal odpornost v primerjavi z zlatim substratom v študiji v semi-realnem času. Razlike v stopnjah rasti na površinah SiO₂ in zlata so bile pripisane razlikam v učinkih površinskega naboja, kjer je imela vlogo odsotnost

vzbujenega plazmorsko inducirane nihanja elektronov na površini SiO₂. Ta metodologija ponuja izboljšano zanesljivost signala za odkrivanje in karakterizacijo biofilmov, ob upoštevanju dejavnikov, kot sta odvisnost od koncentracije in velikosti. Rezultati so bili objavljeni v *Biosensors and Bioelectronics*, 228, 115204 (2023).

Medfazni procesi na FTIR oknih v plinski celici po plazemski izpostavitvi

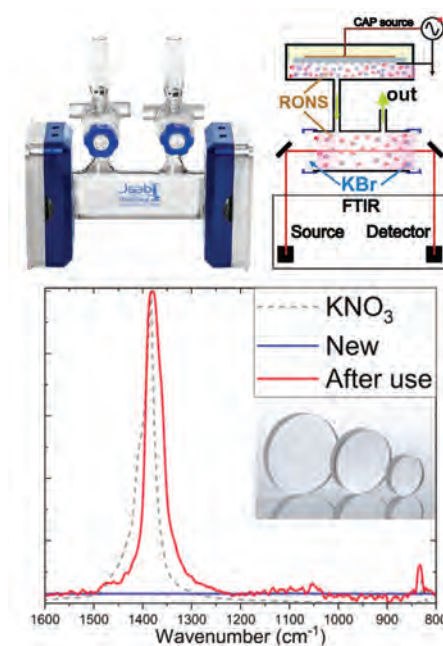
Ta študija raziskuje medfazne procese, do katerih prihaja pri interakcijah med reaktivnimi kisikovimi in dušikovimi vrstami, ki jih ustvarimo z neravnovesno zračno plazmo, in kovinskimi halogenidnimi okni v FTIR plinski celici. Ta interakcija povzroči nastanek in rast motečih absorpcijskih vrhov v območju 1400–1300 cm⁻¹, kar moti interpretacijo spektrov, ki jih pričakujemo pri analizi plazemskih vrst v plinski fazi. Pri študiji smo uporabljali KBr okna, ki so najbolj uporabljen material v tovrstnih študijah. Rezultati so pokazali, da je imel KBr, ki je bil izpostavljen plazmi, nižji atomski delež Br, saj ga je nadomestila nitrarna skupina NO₃. Primarni absorpcijski vrh NO₃ pri izpostavljenosti plazmi postopoma narašča, kar vpliva na prepustnost okna v določenem FTIR območju. V študiji smo vzpostavili korelacijo med tvorbo KNO₃, močjo plazme in časom izpostavljenosti, ki vodi do rasti in sprememb molekularnih vibracijskih energij, povezanih z asimetričnimi razteznimi vibracijami NO₃ v strukturi KNO₃. Rezultati te študije so bili objavljeni v reviji *Journal of Analysis and Testing* (2023) 7:392–404.

Permeabilnost FeAl zlitin za vodik

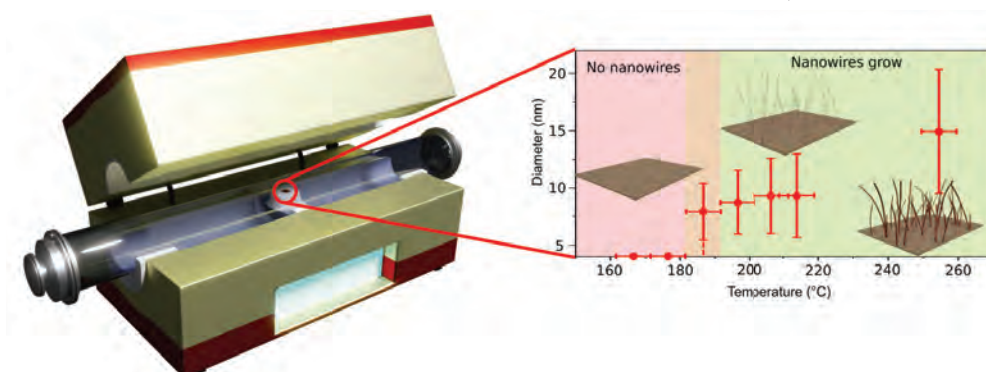
Intermetalne zlitine železa in aluminija imajo številne izjemne lastnosti, določene z razmerjem Fe:Al. V nekaterih specifičnih razmerjih so zaradi odpornosti proti oksidaciji konkurenčne jeklom, ki so pomembna skupina tehničnih zlitin. Na žalost je že majhna količina vodika kritična za povzročitev krhkosti. Za nadzor ključnih parametrov, ki vplivajo na to bistveno lastnost, je bila v desetletjih zbrana obsežna baza podatkov o interakciji vodika z jekli. Za optimizirano mehansko lastnost določenega jekla je bistvena stehiometrija, določena z razmerjem čistih kovin (Cr, Ni, Fe). Parametri, ki igrajo bistveno vlogo pri vplivu vodika na krhkost, so difuzivnost, topnost in gostota vodikovih pasti. Formalizem, ki se uporablja v študijah interakcij med vodikom in kovino ali zlitino, je danes dobro znan. Za zdaj pa podobne primerjave o interakciji vodika, kot jo poznamo za jekla, še ni mogoče narediti predvsem zaradi pomanjkanja podatkov. Intermetalne zlitine FeAl so bile sistematsko proučevane le redko. Glavni razlog je morda v tem, da jih v nekaterih specifičnih atmosferskih pogojih še niso prepoznali kot izjemne. So izjemno odporne proti oksidaciji, saj je njihova površina takoj zaščitena s tanko plastjo aluminijevega oksida, ki hkrati preprečuje prodiranje v zlitino tudi vodik. Vsi objavljeni podatki o difuzivnosti so bili določeni z elektrokemijsko metodo v ozkem območju od sobne temperature do 70 °C. Poleg tega tudi podatki o permeabilnosti FeAl zlitin pri višjih temperaturah sploh ne obstajajo, saj ista metoda vrednotenja za to karakterizacijo ni primerna. Z metodo merjenja permeabilnosti s plinsko metodo smo proučevali permeabilnost in difuzivnost zlitine Fe₃Al od 200 °C do 500 °C. Poleg tega smo proučili vpliv *in situ* nastale oksidne tanke plasti na permeabilnost vodika. Plast je sestavljena predvsem iz aluminijevega oksida, ki je nastala z nadzorovano izpostavljenostjo nadtladne strani membrane čistemu kisiku pri 400 °C. Komplementarna karakterizacija zlitine in tanke zaščitne plasti je bila opravljena z XPS, SEM, TEM in EDS. Glavna ugotovitev je, da le 10 nm debel aluminijev oksid zmanjša stopnjo permeabilnosti vodika za tri velikostne razrede v primerjavi z referenčnimi vzorci, merjenimi pred oksidacijo.

Razumevanje procesov pri rasti nanožic kovinskih oksidov

Eno izmed naših raziskovalnih področij je izdelava nanostruktur oksidov prehodnih kovin za različne aplikacije. Enodimenzionalne strukture (nanožice) teh oksidov so posebno uporabne v plinskih senzorjih, katalizi, materialih za



Slika 2: FTIR okna se spremenijo med izpostavitvijo plazemskih vrstam.

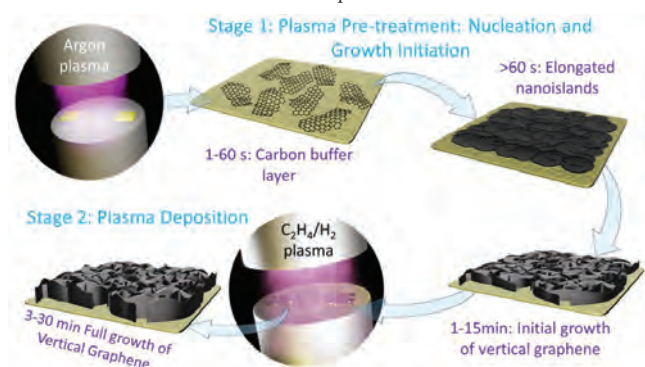


Slika 3: Termična rast CuO nanožic in določitev njihovega minimalnega premera

shranjevanje energije in v sončnih celicah. Ena najenostavnejših metod za njihovo sintezo je termična oksidacija, kjer kovino izpostavimo atmosferi, bogati s kisikom, pri povišanih temperaturah. Razumevanje medsebojnih odvisnosti med eksperimentalnimi pogoji in parametri nanožic ter identifikacija limitnih pogojev, potrebnih za njihovo rast, je ključnega pomena za nadzorovano sintezo tovrstnih struktur. Pri aplikacijah, ki zahtevajo veliko specifično površino, je pomembno, da so nanožice čim tanjše. Naše raziskave so se tako osredotočale na določanje minimalnega še dosegljivega premera nanožic pri termični sintezi nanožic bakrovega oksida (CuO). Izsledki raziskav kažejo, da je temperatura oksidacije primarni dejavnik, ki vpliva na debelino nanožic, pri čemer višje temperature proizvedejo debelejšje nanožice in obratno. Naša glavna naloga je torej bila iskanje najnižje temperature, pri kateri je rast nanožic še mogoča. To smo raziskovali s postopnim zniževanjem temperature oksidacije, dokler na oksidiranem bakru ni bilo več prisotnih nanožic. Rezultati kažejo, da se rast nanožic ustavi pri temperaturi rahlo pod 190 °C, pri čemer imajo najtanjše nanožice premer med 3 in 4 nm. Razložitev teh vrednosti je bila podana s preprostim teoretičnim modeliranjem nukleacije ter izračunom temperaturne odvisnosti velikosti kritičnega premera kristalnih jeder, iz katerih zrastejo nanožice, in proste energije nukleacije nanožic. Rezultati raziskave so bili objavljeni v reviji *Applied Physics Letters* 623, 156936 (2023). Poleg tega smo na področju rasti nanožic predlagali strategijo za povečanje razmerja med dolžino in širino nanožic z zakasnitvijo nasičenja njihove rasti. Pri rasti CuO nanožic potujejo bakrovi atomi iz bakrove podlage na vrh nanožic po površini in skozi centralno dvojlično mejo, prisotno v nanožicah. Pri daljšanju nanožic se veča tudi pot, ki jo morajo prepotovati bakrovi atomi, kar vodi do upočasnitve in nazadnje nasičenja rasti. Še en dejavnik, ki dodatno upočasnjuje rast CuO, je reakcija bakra s kisikom na površini nanožic. Da bi ta faktor minimizirali, je naš pristop vključeval nanos inertne kovine, kot je zlato, na površino nanožic v več korakih. Zlato učinkovito preprečuje stik med kisikom in bakrovimi atomi na površini nanožic, s čimer se poveča delež bakrovih atomov, ki dosežejo vrh nanožic, ter zakasni nasičenje v njihovi rasti. Ta proces, podprt s teoretičnim modeliranjem, je bil opisan v reviji *Advanced Theory and Simulations* 10 (1), 2201739 (2023).

Plazemsko podprta rast 2D vertikalnega grafena

Ob upoštevanju pomembnosti 2D vertikalnih grafenskih (VG) struktur so raziskovalci F6 odseka ob sodelovanju z raziskovalci iz GREMI v Franciji razvili nizko temperaturno plazemsko podprto strategijo rasti VG. Za proučevanje še neraziskanih področij plazemske rasti VG, kot so začetni mehanizem rasti ter pogoji v plazemski komori, so raziskovalci proučevali rast VG v dveh fazah: med začetnimi obdelavami plazemske komore in med depozicijo. Z uporabo nizkotlačne radiofrekvenčne plazme kot zelenega pristopa je raziskovalni skupini uspelo sintetizirati VG



Slika 4: Dvostopenjska plazemsko podprta rast vertikalnih 2D struktur grafena

ob začetni plazemski obdelavi komore pri nizkih močeh, kar dokazuje, da igrajo ogljikove nečistote, prisotne v plazemski komori, eno ključnih vlog pri začetni fazi rasti VG. Rast 2D grafenskih struktur se začne na ogljikovih nečistotah, ki so ob začetni plazemski obdelavi jedkane s sten plazemske komore in nanosene na substrat ter služijo tudi kot prekursor ogljika. Analiza materialov, ki so na stenah plazemske komore, kaže na to, da imajo ti materiali na začetku amorfno strukturo, pozneje, po plazemski obdelavi komore in nanosu na substrat, pa se nahajajo v obliki grafenu podobnih materialov. V poznejših fazah plazemski nanos z uporabo ogljikovih prekursorjev spodbuja hitro rast VG. Zasnova plazemske metode za rast VG je prikazana na sliki 4. Za industrijsko produkcijo ogljikovih nanozidov je nujno, da se plazemske sisteme poveča do te mere, da bodo zmožni nanašati ogljikove nanostrukture na velike površine, pri čemer ima razumevanje vpliva plazemske komore na sintezo velik pomen. Ugotovitve

o pomembnosti vpliva plazemske komore med procesom rasti nanostruktur bodo služile kot nove smernice za upoštevanje tega faktorja, kot enega izmed pomembnih faktorjev poleg drugih plazemskih pogojev, s čimer se bo pripomoglo k učinkovitejšemu nadgrajevanju plazemskih sistemov. Rezultati te raziskave so bili objavljeni v *Applied Surface Science* 643, 158716 (2024).

Nanostrukture na osnovi bioogljika za napredne aplikacije širokopasovne elektromagnetne zaščite

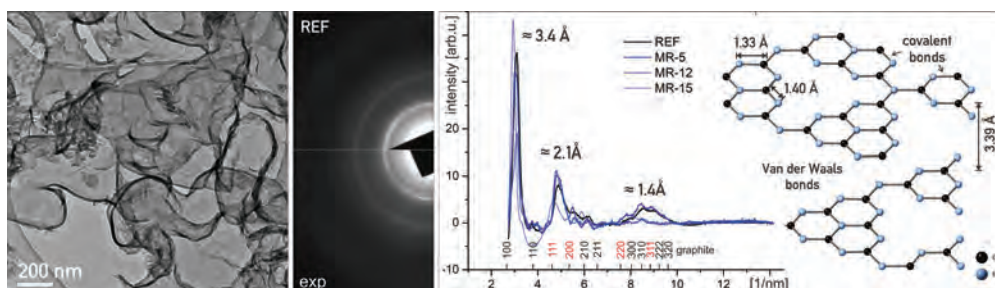
Raziskovalci iz F6 so v sodelovanju z Univerzo Mahatma Gandhi v Indiji in Univerzo v Lancstru v Angliji razvili na ogljiku osnovane funkcionalne nanostrukture, ki služijo kot zaščita pred terahercnim (THz) elektromagnetnim valovanjem. Ta raziskava je velikega pomena predvsem zaradi alarmantno visokega okoljskega onesnaženja z elektromagnetnim valovanjem, ki izvira iz mnogih elektronskih naprav. V tej raziskavi je bil razvit visokozmogljiv THz absorber, narejen iz biomase za trajnostni razvoj z namenom zmanjšanja odpadne biomase, ki ravno tako predstavlja enega izmed današnjih problemov. V ta namen je bil odpadni sladkorni trs uspešno pretvorjen v visoko prevodni trajnostni bioogljik ter njegov kompozit s celuloznimi nanovlakni za absorpcijo THz elektromagnetnega valovanja.

Učinkovitost zaščite pred THz valovanjem z nanopapirjem tega materiala debeline 600 μm je znašala 46 dB, aerogela debeline 3.00 mm pa 70 dB, kar predstavlja visoko THz absorpcijo z minimalnim odbojem THz signala. Poleg tega imajo ti trajnostni absorberji primerljivo absorpcijsko zmogljivost kot grafenska pena (ki je s 74 dB eden izmed najboljših znanih absorpcijskih materialov), kar nakazuje na njihov izjemen potencial pri razvoju prihodnjih THz naprav. Raziskovanje produkcije materialov, osnovanih na bioogljiku iz bioodpadkov, bo služilo kot osnova za nove smernice pri masovni pretvorbi biomase v pomembne nanomateriale, kar bo močno prispevalo k zeleni ekonomiji in okoljski trajnosti. Poleg zelenih metod za snovanje trajnostnih materialov za zaščito pred THz elektromagnetnim valovanjem ta raziskava ponuja tudi priložnosti sintetiziranih materialov na področjih, kot so prečiščevanje vode ter hranjenje in pridobivanje energije. Zaradi trajnostne naravnosti zasnovanih materialov je po preteku življenjske dobe njihova odstranitev okolju neškodljiva, kar bo prispevalo k zmanjšanju produkcije ogljikovega dioksida in s tem globalnega segrevanja. Rezultati te raziskave so bili objavljeni v reviji *Chemical Engineering Journal* 467, 143213 (2023).

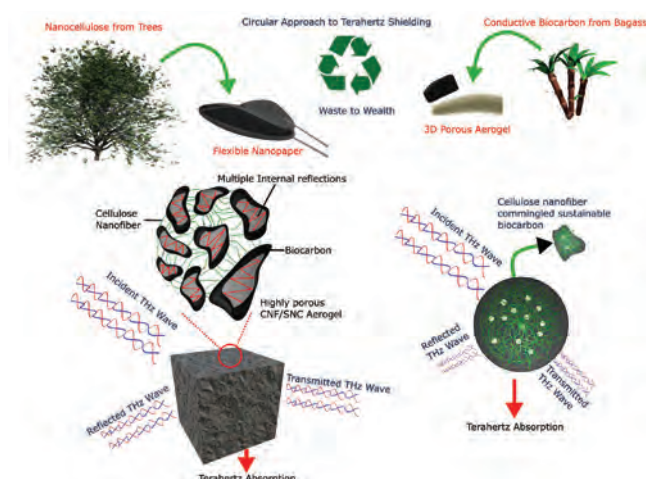
Raziskave nanomaterialov za katalizo

Eno izmed pomembnih raziskovalnih področij odseka je tudi raziskovanje dvodimenzionalnih materialov na osnovi ogljika. Za namen katalize smo uspešno povečali specifično površino grafitnega ogljikovega nitrida ($\text{g-C}_3\text{N}_4$) do 86 m^2/g ter testirali njegove fotokatalitske lastnosti za razgradnjo bisfenola A pri osvetlitvi s svetlobo v vidnem spektru. Študije materialov, ki so občutljivi na elektronski žarek, z metodami presevalne elektronske mikroskopije predstavljajo svojevrsten izziv, zato smo razvili protokol za kvantitativno določanje variacije razmika med individualnimi plastmi. Vzorce $\text{g-C}_3\text{N}_4$ je sintetizirala in optimizirala raziskovalna skupina za anorgansko kemijo in tehnologijo Kemijskega inštituta, raziskava pa je bila izvedena v sodelovanju s sodelavci Centra za energetske raziskave Inštituta za tehnično fiziko in znanost o materialih (Budimpešta, Madžarska). Kot učinkoviti materiali za fotokatalitično oksidacijo bisfenola A, ki jo sproži vidna svetloba, so se izkazali tudi kompoziti $\text{g-C}_3\text{N}_4$ v kombinaciji s TiO_2 . Rezultate raziskav smo objavili v *ACS Catalysis* in *Journal of Alloys and Compounds*.

Druga smer raziskav katalitičnih materialov predstavlja proučevanje nanodelcev žlahtnih kovin na oksidnem nosilcu. S sodelavci s Kemijskega inštituta, Univerze v Mariboru in Univerze v Novi Gorici smo raziskovali več različnih sistemov kovinskih nanodelcev na oksidnem nosilcu. Nanodelci Au na $\text{ZrO}_2\text{-CeO}_2$ so se izkazali za stroškovno učinkovit sintezni postopek pri hidrogeniranju CO_2 . Pri teh raziskavah so TEM metode uporabili za analizo fazne sestave katalizatorja $\text{ZrO}_2\text{-CeO}_2$ ter za določevanje kristalne strukture, velikost in morfologijo nanodelcev. Rezultati so bili objavljeni v *Applied Surface Science* 619, 1–12 (2023). Plazmonski nanodelci Au na TiO_2 substratih so se izkazali kot primerni materiali za heterogeno fotokatalizo, nanodelci Pt na TiO_2 substratih pa za foto, toplotno in fototermično aktivnost za okoljske aplikacije, ki jih poganjajo plazmoni.



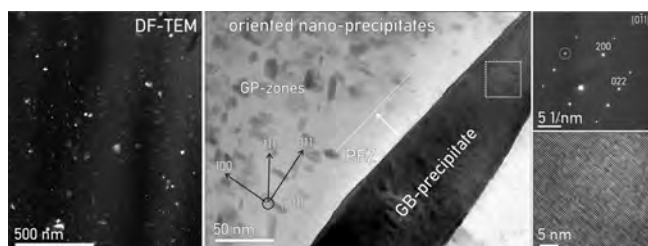
Slika 7: TEM mikrografija in vzorec elektronske difrakcije izbranega področja (SAED), ki smo ga enumerirali in korelirali s prototipno strukturo.



Slika 5: Predlagan mehanizem THz zaščite v aerogelu in papirju na osnovi kompozita prevodnega trajnostnega bioogljika in celuloznih nanovlaken



Slika 6: Dr. Neelakandan M. Santhosh je prejel nagrado zlati znak Jožefa Stefana za svojo doktorsko disertacijo.



Slika 9: TEM mikrografije za vizualizacijo koherentnih Mg precipitov in interakcije med mejami med zrnji (GB), Guinier-Preston cono (GP-zones) in razvojem precipitov-proste cone (PFZ)



Slika 10: Dr. Uroš Cvelbar je prejel Zoisovo priznanje za svoje prispevke k fiziki plazme.



Slika 11: Dr. Alexandre Nominé je prejel medaljo Jaean André Rist za svoj prispevek k trajnostnim materialom z oblikovanjem.

Zlitine na osnovi Al, ojačane s precipitami

V skupni raziskavi s kolegi s Tehnične univerze v Darmstadu (DE), Univerze v Kasslu (DE) in Azarbaijan Shahid Madani University (IR) smo raziskali funkcionalno plastovite Al-zlitine serije AA70xx, ki smo jih izdelali z metodo vročega odtiskovanja, kar trenutno predstavlja ozko grlo za širšo industrijsko uporabo lahkih zlitin, ki lahko nadomestijo konstrukcijska jekla v avtomobilski in letalski industriji. Termična obdelava materialov bistveno vpliva na mikrostrukturo, nastanek in velikost precipitov ter na končne mehanske lastnosti materiala. Zaradi nano velikosti elementov so bile metode elektronske mikroskopije bistvene pri določevanju korelacije med nanostrukturo in končnimi fizikalnimi lastnostmi. Zaradi razlik v kemijski sestavi in hitrosti jedkanja med Al matrico in precipitami smo optimizirali metodo priprave vzorcev z namenom ohranitve prvotne mikrostrukture in strukturnih napak, kot so dislokacije. Rezultati obsežne raziskave so bili objavljeni v *Advanced Engineering Materials* 15(25), 2201879 (2023). Nadalje smo raziskovali nizkokotno utrujenost materiala pod stresom starih Al-zlitin tipa 70xx in vpliv nanoprecipitov na mehanske lastnosti. Materiale smo testirali pod ekstremnimi zunanji mehaničnimi deformacijami, nanoprecipitati pa so imeli ključno vlogo pri izboljšanju mehanskih lastnosti (*Advanced Engineering Materials* 15(25), 2300090 (2023)). Rezultate raziskav korelacije med procesnimi parametri na končne lastnosti materiala, skupaj s simuliranim procesom oblikovanja, smo objavili v *Journal of Manufacturing Processes* 86, 336-353 (2023).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kovačič, Ana, Modic, Martina, Hojnik, Nataša, Štampar, Martina, Gulin, Martin Rafael, Nannou, Christina, Koronaoui, Lelouda-Athanasia, Heath, David John, Walsh, James L., Žegura, Bojana, Lambropoulou, Dimitra A., Cvelbar, Uroš, Heath, Ester, Degradation and toxicity of bisphenol A and S during cold atmospheric pressure plasma treatment, *Journal of Hazardous Materials*, 2023, 454, 131478
2. Santhosh, Neelakandan Marath, Upadhyay, Kush K., Filipič, Gregor, Zavašnik, Janez, Montemor, Maria de Fátima, Cvelbar, Uroš, Widening the limit of capacitance at high frequency for AC line-filtering applications using aqueous carbon-based supercapacitors, *Carbon*, 2023, 203, 686-694, DOI: 10.1016/j.carbon.2022.12.026, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131478
3. Shaji, Nitheesha, Santhosh, Neelakandan Marath, Zavašnik, Janez, Cvelbar, Uroš, Lee, Chang Woo, *et al.*, Moving toward smart hybrid vertical carbon/MoS₂ binder-free electrodes for high-performing sodium-ion batteries, *ACS sustainable chemistry & engineering*, 2023, 11, 8, 3260-3269, DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c05996
4. Roškarič, Matevž, Zavašnik, Janez, Dániel Zámbo, Dániel, Kotnik, Tomaž, Kovačič, Sebastijan, Žerjav, Gregor, Pintar, Albin, Optimization method based on simplex for surface area improved photocatalytic performance of g-C₃N₄, *ACS catalysis*, 2023, 13, 20, 13282-13300, DOI: 10.1021/acscatal.3c03394
5. A. R. Pai, Y. Lu, S. Joseph, N.M. Santhosh, R. Degl'Innocenti, H. Lin, R. Letizia, C. Paoloni, S. Thomas, Ultra-broadband shielding of cellulose nanofiber commingled biocarbon functional constructs: A paradigm shift towards sustainable terahertz absorbers, *Chemical Engineering Journal*, 2023, 467, 143213, <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2023.143213>
6. Baranov, Oleg B., Belmonte, Thierry, Levchenko, Igor, Bazaka, Kateryna, Košiček, Martin, Cvelbar, Uroš, Hierarchical nanomaterials by selective deposition of noble metal nanoparticles: insight into control and growth processes, *Advanced theory and simulations*, 2023, 6, 9, 2300288, DOI: 10.1002/adts.202300288

- Košiček, Martin, Baranov, Oleg B., Zavašnik, Janez, Cvelbar, Uroš, In search of the limits of CuO thermal oxidation nanowire growth by combining experiment and theory, *Applied physics letters*, 2023, **123**, 041601-1-041601-7, DOI: 10.1063/5.0151293
- Baranov, Oleg B., Bazaka, Kateryna, Belmonte, Thierry, Riccardi, Claudia, H. Eduardo, Roman, Mohandas, Mandhakini, Xu, Shuyan, Cvelbar, Uroš, Levchenko, Igor, Recent innovations in the technology and applications of low-dimensional CuO nanostructures for sensing, energy and catalysis, *Nanoscale horizons*, 2023, **9**, 5, 568-602, DOI: 10.1039/D2NH00546H
- Northage, Naomi, Simon, Stéphane, Shvalya, Vasyl, Modic, Martina, Juergens, Thorsten, Eschborn, Sascha, Horsburgh, Malcolm J., Walsh, James L., Efficient endoscope inner channel surface disinfection using a two-step atmospheric pressure plasma treatment, *Applied surface science*, 2023, **623**, 156936, DOI: 10.1016/j.apsusc.2023.156936
- Nemanič, Vincenc, Kovač, Janez, Žumer, Marko, Zavašnik, Janez, Impact of surface oxide on hydrogen permeability of chromium membranes, *International journal of hydrogen energy*, 2023, **48**, 26, 9723-9733, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.11.267

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

- Tretja mednarodna delavnica o plazemsko prilagojenih nanostrukturah in aplikacijah (SWOPTAN), Rogla, Slovenija, 29. 1.–1. 2. 2023

Patent

- Aswathy Vasudevan, Gregor Filipič, Janez Zavašnik, Uroš Cvelbar, Method for in-situ synthesis and deposition of metal oxide nanoparticles with atmospheric pressure plasma, EP 3 960 703 B1, European Patent Office, 7. 6. 2023

Nagrade in priznanja

- Neelakandan Marath Santhosh, Plazemsko omogočeno oblikovanje hibridnih ogljikovih nanostruktur za shranjevanje energije, Zlati znak Jožefa Stefana, 23. 3. 2023
- Vasyl Shvalya *et al*, Prepoznavanje bakterijske DNK z naprednim nanoplazmanskim senzorjem, Odlični v znanosti 2023, 21. 11. 2023, ARIS
- Uroš Cvelbar, Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju plazemske fizike, 28. 11. 2023
- Alexandre Nominé, Jaean André Rist Medal, 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

- Partnerska skupina Max Planck
Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH
doc. dr. Janez Zavašnik
- COST CA18113; EuroMicroPH - Razumevanje in uporaba nizkega pH pri mikroorganizmih
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
- COST CA18116; Aniridia: Mreženje za reševanje neizpolnjenih zdravstvenih, znanstvenih in družbenih izzivov
COST Association AISBL
prof. dr. Uroš Cvelbar
- COST CA19110; Uporaba plazme za pametno in vzdržljivo kmetijstvo
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
- NATO; NOOSE - Nanomateriali za odkrivanje eksplozivnih sledi s SERS
NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Uroš Cvelbar
- COST CA20114; Terapevtske aplikacije hladnih plazem
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
- COST CA20129; Več obsežni procesi obsevanja in kemije ter z njimi povezane tehnologije
COST Association AISBL
prof. dr. Uroš Cvelbar
- Prosti radikali in oksidativni stres v mikrobnih biofilmih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Martina Modic
- Kako plazma vpliva na katalitično aktivnost nanomaterialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Uroš Cvelbar
- Razkrivanje rasti 1D nanostruktur in tankih filmov za sončne celice na fazni meji
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Uroš Cvelbar
- OE - EUROfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik
- OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik
- OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
dr. Vincenc Nemanič
- OE - ThermoDust; Sprememba paradigme za naprave za upravljanje toplote prihodnosti z radikalnimi inovacijami v novih materialih in aditivni proizvodnji
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik
- ERASMUS+; HERawS - Poudarki na trajnosti evropskih surovin
European Commission
prof. dr. Uroš Cvelbar

PROGRAMA

- Vakuumska tehnika in materiali za elektroniko
dr. Vincenc Nemanič

- Plazma in kvantne strukture
prof. dr. Uroš Cvelbar

PROJEKTI

- Pametna plazemska tehnologija
James Leon Walsh, PhD, Združeno kraljestvo
- Detekcija napak in vodika v kristalni rešetki s pomočjo ionskih metod v načinu kanaliziranja za fuzijo
doc. dr. Janez Zavašnik
- Načrtovanje in razvoj DT-procesiranih Fe-Al zlitin s samotvornimi preprekami za prepustnost vodika za najzahtevnejša okolja
doc. dr. Janez Zavašnik
- Plazemsko aktivirani nanomehurčki: Nov pristop za učinkovito razkuževanje endoskopov
James Leon Walsh, PhD, Združeno kraljestvo
- Napredna plazmonska vibroskopija na nivoju DNK molekul za nanomedicinske raziskave
Vasyl Shvalya, PhD

- Plazemska razgradnja genotoksičnih kontaminantov v odpadnih vodah
dr. Martina Modic
- Plazmonični senzorji za diagnostiko poškodb DNA
Vasyl Shvalya, PhD
- Hibridne plazemsko omogočene nanostrukture za napredne superkondenzatorje
prof. dr. Uroš Cvelbar
- Izdelava preje z niskim vplivom na okolje s pomočjo obdelave z atmosfersko plazmo
prof. dr. Uroš Cvelbar
- Tehnologija plazme pri atmosferskem tlaku za odstranjevanje v zraku prisotnih alergenov (RemovALL)
dr. Nataša Hojnik
- Multifunkcionalni pokončni grafenski hibridi za visoko energijske superkondenzatorje
dr. Neelakandan Marath Santhosh
- VEGA - Pokončni grafen za aluminij-ionske baterije
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
prof. dr. Uroš Cvelbar
- Plazma in kvantne strukture
prof. dr. Uroš Cvelbar

OBISKI

- prof. dr. Wonho Choe, prof. dr. Sanghoo Park, KAIST, Daejeon, Južna Koreja, 15. 2.–18. 2. 2023
- izr. prof. dr. Alexandre Francois Rene Nomine, Univerza v Lorraine, Nancy, Francija, 19. 2.–25. 2. 2023
- izr. prof. dr. Alexandre Francois Rene Nomine, Univerza v Lorraine, Nancy, Francija, 22. 4.–30. 4. 2023
- dr. Iryna Bennett, dr. Dinusha Jayasundara, Central Engineering Department, Zagotavljanje storitev v imenu organa Združenega kraljestva za atomsko energijo, Združeno kraljestvo, 3. 5. 2023
- prof. dr. Thomas Strunskus, Univerza v Kielu, Kiel, Nemčija, 24. 5. 2023
- izr. prof. dr. Alexandre Francois Rene Nomine, Univerza v Lorraine, Nancy, Francija, 10. 7.–25. 7. 2023
- dr. Bob Nemanich, Univerza v Arizoni, Arizona, ZDA, 15. 9. 2023
- prof. dr. Anton Nikiforov, Univerza v Gentu, Gent, Belgija, 17. 9.–19. 9. 2023
- izr. prof. dr. Alexandre Francois Rene Nomine, Univerza v Lorraine, Nancy, Francija, 19. 10.–1. 11. 2023
- prof. dr. Oleh Baranov, Univerza v Kharkivu, Kharkiv, Ukrajina, 17. 11.–4. 12. 2023
- Arijeta Bafti, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo, Zagreb, Hrvaška, 11. 12.–15. 12. 2023
- prof. dr. Vilko Mandić, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo, Zagreb, Hrvaška, 11. 12. 2023
- doc. dr. Marko Rukavina, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo, Zagreb, Hrvaška, 11. 12. 2023
- Floren Radovanović Perić Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo, Zagreb, Hrvaška, 11. 12. 2023
- Ivana Panžić, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo, Zagreb, Hrvaška, 11. 12. 2023

- Uroš Cvelbar, Janez Zavašnik, konferenca Green Deal, Nancy, Francija, 9. 5.–11. 5. 2023 (2)
- Uroš Cvelbar, ICIPG2023 (Mednarodna konferenca o pojavih ioniziranih plinov), EPSPlasma2023 (Konferenca o plazemski fiziki), Bordeaux, Francija, Egmond am Zee, Nizozemska, 30. 6.–15. 7. 2023 (2)
- Uroš Cvelbar, SDEWES, Dubrovnik, Hrvaška, 24. 9.–28. 9. 2023 (1)
- Uroš Cvelbar, AAPPS-DDP, Nagoya, Japonska, 11. 11.–18. 11. 2023 (1)
- Uroš Cvelbar, iPlasmaNano konferenca, Guadelope, Francija, 3. 12.–10. 12. 2023 (1)
- Andrea Jurov, Neelakandan Marath Santhosh, MRM2023, IUMRS-ICA2023, konferenca Japonskega društva za raziskave materialov, Kyoto, Japonska, 9.–21. 12. 2023 (2)
- Ardita Kurtishaj, IUVESTA Poletna šola, Nica, Antibes, Francija, 10.–22. 9. 2023 (1)
- Uroš Cvelbar, Nataša Hojnik, Andrea Jurov, Martin Košiček, Juš Polanšek, Neelakandan Marath Santhosh, Vasyl Shvalya, 244. ECS mednarodna konferenca, Gothenburg, Švedska, 8.–13. 10. 2023 (7)
- Martina Modic, AEPSE 2023, Busan, Južna Koreja, 2. 11.–16. 11. 2023 (1)
- Neelakandan Marath Santhosh, 244. ECS konferenca, Gothenburg, Švedska, 1. 10.–14. 10. 2023 (1)
- Vasyl Shvalya, Photooptics konferenca, Lizbona, Portugalska, 15. 2.–19. 2. 2023 (1)
- Vasyl Shvalya, DySoN 2023, Praga, Češka, 23. 4.–28. 4. 2023 (1)
- Vasyl Shvalya, MicroNano mednarodna konferenca, Atene, Grčija, 1. 11.–8. 11. 2023 (1)
- Janez Zavašnik, Kloster Steinfeld, Dusseldorf, Nemčija, 5. 2.–11. 2. 2023 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

- Uroš Cvelbar, Janez Zavašnik, Twente Univerza, Twente, Nizozemska, 5.–7. 6. 2023 (projektni sestanek)
- Martina Modic, Veterinarska fakulteta, Dunaj, Avstrija, 17.–23. 9. 2023 (COST sestanek)
- Neelakandan Marath Santhosh, Mahatma Gandhi Univerza, Kerala, Indija, 15. 2.–15. 3. 2023 (projektni sestanki, eksperimenti)
- Neelakandan Marath Santhosh, Konferenčna dvorana v Haagu, Haag, Nizozemska, 17.–20. 4. 2023 (letni sestanek Graphene Flagship)
- Neelakandan Marath Santhosh, Univerza v Orleansu, Orleans, Francija, 11. 7.–30. 9. 2023 (podoktorsko usposabljanje)
- Janez Zavašnik, City Town Hall, Nancy, Francija, 5.–8. 7. 2023 (projektni sestanek)
- Janez Zavašnik, Max Planck Institut, Dusseldorf, Nemčija, 11.–15. 12. 2023 (projektni sestanek)
- Janez Zavašnik, Univerza v Luksemburgu, Luksemburg, Luksemburg, 17.–21. 12. 2023 (projektni sestanek)

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Uroš Cvelbar, JSPP-14 mednarodna konferenca, Okinawa, Japonska, 14.–4. 21. 4. 2023 (1)
- Uroš Cvelbar, 243. mednarodna konferenca ECS, Boston, ZDA, 27. 5.–2. 6. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

- prof. dr. Uroš Cvelbar**
- dr. Martina Modic
- dr. Vincenc Nemanich
- Alexandre Francois Rene Nomine, PhD., Francija
- Vasyl Shvalya, PhD.
- James Leon Walsh, PhD. Združeno kraljestvo
- doc. dr. Janez Zavašnik

Podoktorski sodelavci

- dr. Nataša Hojnik

- dr. Andrea Jurov
- dr. Martin Košiček
- dr. Neelakandan Marath Santhosh

Mlajši raziskovalci

- Ardita Kurtishaj Hamzaj, Master, Kosovo
- Juš Polanšek, mag. fiz.
- Jelena Štrbac, mag. biokem.
- Marko Žumer, univ. dipl. fiz.

Strokovni sodelavci

- Jaka Olenik, dipl. inž. fiz. (VS)
- Damjan Vengust, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

- Urška Kisovec, mag. manag.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Ben Gurion, Univerza v Negevu, Izrael
2. Beti Metlika, d. d., Metlika, Slovenija
3. EMPA, Laboratorij za tehnologije spajanja in korozijo, Švicarski zvezni laboratoriji za znanost in tehnologijo materialov, Dübendorf, Švica
4. Institut za fiziko, Beograd, Srbija
5. Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška
6. Institute Jean Lamour Nancy, Francija
7. Institut Max-Planck, Dusseldorf in Garching, Nemčija
8. Johannes Kepler Univerza v Linzu, Linz, Avstrija
9. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
10. Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Škofja Loka, Slovenija
11. Kharkiv Aviation Institute, National Aerospace University, Kharkov, Ukrajina
12. Kolektor Group, d. o. o., Idrija, Slovenija
13. Korejski napredni inštitut za znanost in tehnološko podprto industrijsko znanost in tehnologijo, Daejeon, Južna Koreja
14. Leibniz-Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Nemčija
15. Mahatma Gandhi Univerza, Kerala, Indija
16. Mednarodna agencija za atomsko energijo, Dunaj, Avstrija
17. Nacionalni inštitut za napredno industrijsko znanost in tehnologijo, Tsukuba, Japonska
18. National Center For Scientific Research (NCRS) Demokritos, Atene, Grčija
19. National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bukarešta, Romunija
20. Nanyang Univerza v Singapuru, Singapur
21. NATO, Bruselj, Belgija
22. Onkološki inštitut Ljubljana, Slovenija
23. Tehnična univerza Darmstadt, Inštitut za proizvodno strojništvo in preoblikovane stroje, Darmstadt, Nemčija
24. Tehnična univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija
25. Univerza v Beogradu, Rudarsko-geološka fakulteta, Beograd, Srbija
26. Univerza George Washington, Washington DC, ZDA
27. Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka
28. Univerza uporabnih znanosti Zuyd, Heerlen, Nizozemska
29. Univerza v Gentu, Gent, Belgija
30. Univerza v Kasslu, Inštitut za inženirstvo materialov, Kassel, Nemčija
31. Univerza v Liverpoolu, Liverpool, Velika Britanija
32. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
33. Univerza v Lorraine, Nancy, Francija
34. Univerza v Louisvillu, Louisville, ZDA
35. Univerza v Nagoyi, Nagoya, Japonska
36. Tehniška univerza v Lizboni, Lizbona, Portugalska
37. Univerza v Sanghaju Jiao Tong, Sanghaj, Kitajska
38. Univerza v Seville, Sevilla, Španija
39. Univerza v Ulstru, Belfast, Združeno kraljestvo
40. Univerza Texas A&M, Collage station, Teksas, ZDA
41. Univerza v Yorku, York, Velika Britanija

Raziskave Odseka za kompleksne snovi obsegajo različna področja od fundamentalnih raziskav osnovnih vzбудitev v kvantnih materialih, neravnovesne kvantne snovi, samoorganizirane adaptivne funkcionalnosti v kompleksnih sistemih in v mehki snovi do nanobiosistemov, biomolekul in različnih nanomaterialov. Eksperimentalne dejavnosti na odseku so tesno povezane s teoretičnimi raziskavami na različnih ravneh in podprte s sintezo zelo raznovrstnih materialov. Naše raziskave ultrahitrih neravnovesnih prehodov, novih skritih ureditev in feroičnih tekočin so široko svetovno znane in nosijo blagovno znamko odseka F7 in Instituta "Jožef Stefan".



Vodja:

prof. dr. Dragan D. Mihailović

V celoti so raziskovalni dosežki odseka zelo raznoliki, poročamo pa o pomembnih odkritjih na številnih področjih.

Leto 2023 je bilo izjemno uspešno, saj so se uresničili številni pomembni projekti in številne objave v revijah, kot so *Nature*, več člankov v *Nature Communications*, *Science Advances*, *Small* in drugih uglednih revijah. Seveda gre za kumulacijo dela, opravljenega v prejšnjih letih, vendar je bilo leto 2023 leto, ko je bilo končno objavljeno veliko člankov, včasih po velikih naporih pri recenziranju. Tudi skupna prizadevanja s številnimi vodilnimi svetovnimi laboratoriji so prinesla odlične rezultate in poznejše objave.

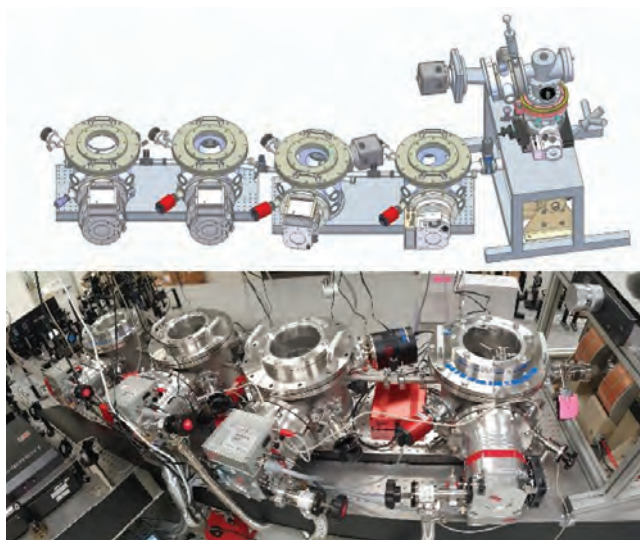
Na eksperimentalnem področju je začel delovati naš novi laboratorij za resonančno XUV-elipsometrijo (slika 1). S prvo svetlobo XUV je bilo izvedenih nekaj testnih poskusov z obetavnimi rezultati in obetom nove fizike. Nova aparatura, ki je trenutno na voljo le na nekaj laserskih napravah na proste elektrone, bo razširila paleto ultrahitrih spektroskopij, ki so na voljo na IJS in v Sloveniji, ter omogočila neposrednejši in podrobnejši vpogled v eksotična elektronska stanja, ultrahitro spinsko dinamiko v kompozitnih materialih, nekolinarne spinske teksture itd. Pri načrtovanju sistema smo veliko pozornosti namenili stabilnosti in občutljivosti. Z uporabo posebne normalizacijske rutine v kombinaciji s polarizacijsko občutljivostjo širokopasovnega detektorja bo mogoče meriti tudi šibke signale, ki so običajno nedostopni s hrupnimi viri FEL in HHG. To je še posebej pomembno pri koreliranih materialih, ki so izredno občutljivi na zunanje motnje.

Poleg žarkovne linije XUV je bilo na oddelku veliko truda vloženega tudi v vzpostavitev tehnoloških temeljev za nove raziskovalne smeri. Lani dokončani Laboratorij za napredne kvantne naprave (AQDL), ki je bil ustanovljen v okviru skupnega podjetja F7 in Nanocentra, je že prinesel številne rezultate, med drugim tudi začetek razširjenega sodelovanja z Googlovo Quantum AI na področju razvoja kvantnih procesorjev. Tako je zdaj mogoče različne naprave in precej zapletena vezja čipov izdelati z uporabo e-beam patterninga v okolju brez kisika z večplastnimi nanosi. Nadzorovana atmosfera je še posebej pomembna, kadar naprave uporabljajo materiale, občutljive na kisik ali vodo, kot so pomnilniške naprave CCM ter superprevodni resonatorji in transmonski kubiti. Za poskuse več uporabnikov po vsem svetu so bile izdelane Moirejeve enoatomske heterostrukture z materiali, kot so hBN, grafen in prehodni kovinski dikalkogenidi.

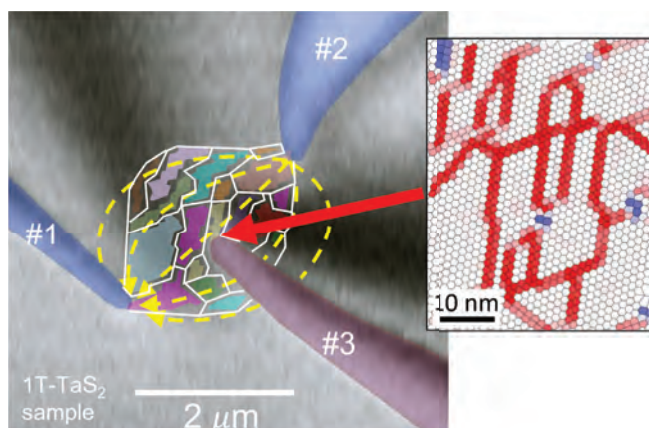
AQDL tako dopolnjuje eksperimentalne metode, ki se že uporabljajo na oddelku in vključujejo različne femtosekundne laserske spektroskopije od THz do XUV, različne optične tehnike, študije ultrahitrega transporta in superprevodnih naprav, pa tudi sintezo kemijo in metode nanašanja tankih plasti, kot so MBE, AfID in EBE, laserske biomedicinske študije, femtosekundni STM in magnetometrijo.

Mikroskopska raziskava nastajajočega stanja domenske stene v $1T\text{-TaS}_2$

V rokopisu, objavljenem v *Nature Communications* (<https://doi.org/10.1038/s41467-023-43800-3>), smo raziskovali mikroskopske lastnosti metastabilnega stanja elektronskih domenskih sten v materialu $1T\text{-TaS}_2$ in opazovali njegovo dinamiko pod vplivom električnega toka z uporabo nizkotemperaturnega vrstičnega tunelskega mikroskopa (STM) z več konicami. Struktura domenskih sten, ustvarjena na tokovni poti, kaže izjemno stabilnost



Slika 1: Naprava za časovno ločljivo resonančno XUV-elipsometrijo

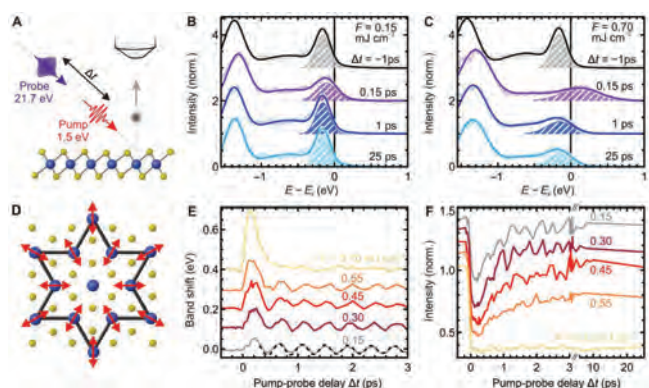


Slika 2: Prikaz STM eksperimentalne postavitve s pomočjo vrstičnega elektronskega mikroskopa. Dve zunanji STM-konici (#1 in #2) sta bili uporabljeni za izvor toka, konica #3 pa je bila uporabljena za pridobivanje STM-slik. Struktura elektronskih domen je shematično prikazana z barvnimi domenami (zunaj merila), tokovna pot pa je shematično prikazana z rumenimi puščicami. Povečava prikazuje konstrukcijo WS-celic omrežja domenskih sten, ki jih inducira električni tok.

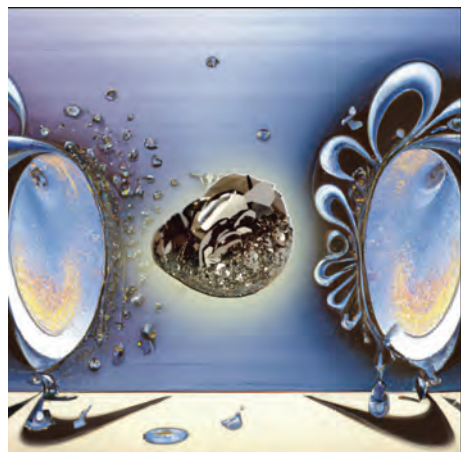
pri nižjih vrednostih električnega toka, vendar se začne preoblikovati in izginjati pri višjih tokovih. Analizirali smo domenska omrežja s pomočjo Wigner-Seitz (WS) celične konstrukcije, ki je razkrila temeljna topološka pravila in nam omogočila opazovanje frakcionalizacije naboja znotraj omrežja, ustvarjenega z vbrizgavanjem naboja. Z analizo WS smo identificirali netrivialne defekte na nekaterih križiščih domenske stene v obliki parov pentagon/heptagon, ki so homotopsko enakovredni kristalnim dislokacijam. Netrivialni topološki defekti na stičiščih domenskih sten ščitijo strukturo mezoskopske mreže pred zunanjimi motnjami in se začnejo uničevati šele pri višjih vrednostih električnega toka, kar ponuja vpogled v izjemno dolgoživost metastabilnega stanja pri nizkih temperaturah. Z uporabo Monte-Carlo simulacij postopnega vbrizgavanja naboja na podlagi Mott-Wignerjevega modela rešetkastega plina smo opazili ustvarjanje zapletenih delno nabitih domenskih mrež, ki izkazujejo izrazito podobnost z izmerjenimi podatki. Pri tem se zdi, da efektivni naboj elektronov ni več celo število, ampak prevzame delne vrednosti, kot so $13/10$, $23/40$ in $3611/5000$. Število takšnih frakcijskih stanj je veliko, a končno mnogo. Termično modeliranje eksperimentalne postavitve (izvedeno v sodelovanju s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani) kaže, da je preklapljanje med stanji netermalno in se ne dogaja prek visokotemperaturnega NC stanja, temveč neposredno iz H v C stanje.

Koherentno svetlobno krmiljenje metastabilnega skritega stanja

Metastabilne faze so obetavna pot za razširitev funkcionalnosti kompleksnih materialov. Posebej zanimive so svetlobno inducirane metastabilne faze, ki so v ravnovesnih pogojih nedostopne, saj pogosto vsebujejo nove, nastajajoče lastnosti, ki jih je mogoče spreminjati na ultrahitrih časovnih skalah. Vendar pa procesi, ki urejajo poti do takšnih skritih faz, večinoma ostajajo neraziskani. V tem članku s časovno in kotno ločeno fotoemisijsko spektroskopijo raziskujemo ultrahitro dinamiko nastanka skritega kvantnega stanja v večplastnem dikalkogenidu 1T-TaS₂ ob fotoekstiraciji. Naši rezultati razkrivajo netermalni značaj prehoda, ki ga uravnava kolektivno valovno vzbujanje gostote naboja. Z uporabo dvopulznega vzbujanja strukturnega načina pokažemo vibracijski koherentni nadzor učinkovitosti faznega prehoda. Naš prikaz izjemnega nadzora, hitrosti preklopa in stabilnosti skritih stanj je ključen za uporabo naprav na stičišču elektronike in fotonike. To delo je bilo opravljeno skupaj s skupino Laurenza Rettiga iz Göttingena in je bilo objavljeno v reviji *Science Advances*. Proučevani pojavi so ključni za uporabo naprav na stičišču elektronike in fotonike. Julian Maklar *et al.* Coherent light control of a metastable hidden state (Nadzor metastabilnega skritega stanja s koherentno svetlobo). *Sci. Adv.* 9, eadi4661 (2023).



Slika 3: Dinamični prehod v fazo H. (A) Skica poskusa trARPES z zamikom črpalke in sonde Δt . (B) EDC (pike) pri točki Γ za izbrane zakasnitve po vzbujanju pri fluenci pod in (C) nad mejno fluenco faze H ($T = 160$ K, frekvenca ponavljanja = 10 kHz). Polne črte označujejo najboljše ujemanje s tremi Gaussovimi vrhovi. Osenčena območja označujejo Gaussov vrh, ki zajame LHB. E in F prikazujeta časovno dinamiko pri različnih fluencah, ki kaže jasno nelinearno gibanje, povezano s prehodi v stanje H.



Kontroliranje temperature prehoda elektronske ureditve v kvantnem materialu s pomočjo resonatorske votline

Namestitev kvantnih materialov v optične votline zagotavlja edinstveno platformo za nadzor kvantnih kooperativnih lastnosti snovi, tako s šibkim kot močnim spajanjem svetlobe in snovi. Tukaj poročamo o eksperimentalnih dokazih o povratnem nadzoru votline nad faznim prehodom iz kovine v izolator v koreliranem materialu v trdni snovi. Material 1T-TaS₂ z valovno gostoto naboja smo vgradili v kriogeno nastavljive terahertzne votline³ in pokazali, da se preklap med prevodnim in izolacijskim obnašanjem, povezanim z veliko spremembo temperature vzorca, doseže z mehansko nastavitvijo razdalje med zrcali votline in njihovo poravnavo. Opazovana velika temperaturna sprememba kaže na Purcellov scenarij, v katerem spektralni profil votline spreminja izmenjavo energije med materialom in zunanjim elektromagnetnim poljem. Naše Slika 4: Kvantni kristal med zrcaloma kaže zelo nenavadne lastnosti. Jarc, G. *et al.* *Nature* 622, 487–492 (2023).

ugotovitve ponujajo možnosti za nadzor termodinamike in makroskopskih transportnih lastnosti kvantnih materialov z inženiringom njihovega elektromagnetnega okolja. Z votlino posredovan termični nadzor prehoda iz kovine v izolator smo dosegli z vgradnjo materiala 1T-TaS₂ z valovno gostoto naboja v kriogensko nastavljive teraherzne votline. Delo je bilo opravljeno v sodelovanju s skupino Danieleja Faustija in Martina Ecksteina ter Petra Prelovška. Jarc, G. *et al.* Z votlino posredovan termični nadzor prehoda iz kovine v izolator v 1T-TaS₂. *Nature* 622, 487–492 (2023).

Kristalizacija polaronov skozi prehode urejanja naboja in spina v 1T-TaS₂

Interakcija elektronov z rešetko v kovinah lahko privede do zmanjšanja njihove kinetične energije do te mere, da lahko tvorijo težke, oblečene kvazi delce – polarone. Žal je polaronske motnje mreže pri nizkih temperaturah težko ločiti od običajnejših pojavov urejanja naboja in spina. Tukaj predstavljamo študijo lokalnega simetričnega rušenja mrežne strukture na pikosekundni časovni skali v prototipnem slojnim dikalkogenidnem Mottovem izolatorju 1T-TaS₂ z uporabo meritev rentgenske parne porazdelitvene funkcije. Jasno smo identificirali polaronska popačenja rešetke, ki kršijo simetrijo, pri temperaturah precej nad urejenimi fazami, in zabeležili razvoj porušeni simetrijskih stanj od 915 K do 15 K. Podatki kažejo, da urejanje naboja poganja polaronska kristalizacija v Wignerjev kristal, podoben kristalu, in ne gnezdenje na Fermijevi površini ali običajna elektron-fononska vezava. Pri srednjih temperaturah so lokalna popačenja rešetke skladna s kvantnim spinsko tekočim stanjem. Delo je bilo opravljeno skupaj s skupino Emila Bozina iz BNL in Gianguida Baldinozzija (CNRS Unive. Paris-Saclay) in je bilo objavljeno v *Nature communications*. Bozin, E. S. *et al.* Crystallization of polarons through charge and spin ordering transitions in 1T-TaS₂ (Kristalizacija polaronov s prehodi naboja in spina v 1T-TaS₂). *Nat. Commun.* 14, 7055 (2023).

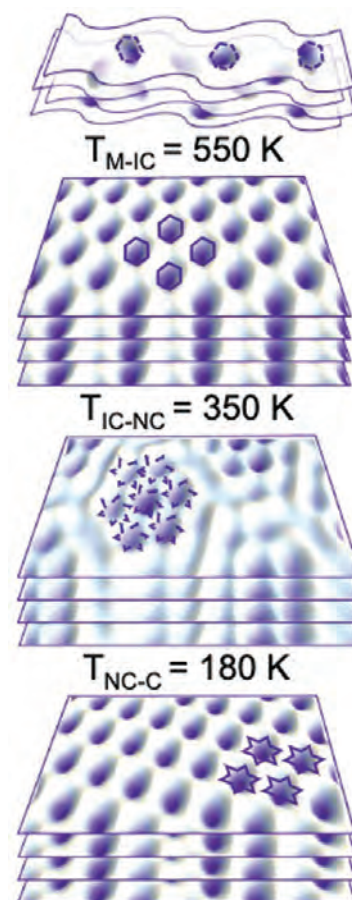
Dinamika kiralnih domen in prehodne interference zrcalnih supermrež v neuravnoveženih elektronskih kristalih

Zrcalna simetrija ima pomembno vlogo pri določanju lastnosti snovi in je še posebej zanimiva v kondenziranih sistemih z mnogimi telesi, v katerih se v neravnovesnih razmerah prehaja v prelom simetrije. Običajno se po takih prehodih pojavi eno od dveh možnih stanj porušene simetrije. Vendar pa lahko sintetični sistemi in sistemi, ki so nastali v neravnovesnih pogojih, kažejo metastabilna stanja, ki vključujejo levo (L) in desno (R) simetrijo. V tem prispevku raziskujemo nastanek kiralnih domen valovanja gostote naboja (CDW) po laserskem ugašanju v 1T-TaS₂ s skenirno tunelsko mikroskopijo. Običajno smo opazili prehodne domene obeh kiralitet, ki so jih prostorsko ločile domenske stene z različno strukturo. Poleg tega smo opazili prehodne modulacije gostote stanj, ki so skladne z interferenco L in R-ročnih valov gostote naboja v površinskem monosloju. Teoretično modeliranje prepletenih domenskih struktur z uporabo klasičnega modela plina z nabitimi rešetkami reproducira eksperimentalne strukture domenskih sten.

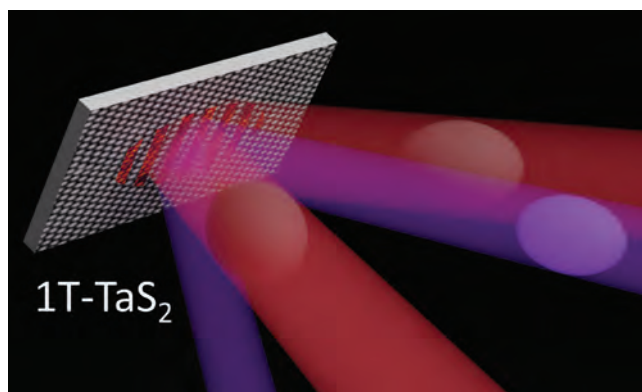
Stanja superpozicije (S) ni mogoče razumeti klasično v okviru koreliranega elektronskega modela, vendar je ugotovljeno, da je skladno z interferencami L in R-ročnih valov gostote naboja znotraj domen, ki jih omejujejo okoliške domenske stene, kar nazorno razkriva interferenco Fermijevih elektronov z nasprotno kiralnostjo, ki ni posledica interference med plastmi, temveč je posledica interakcije med elektroni znotraj ene same plasti, omejene z mejami domenskih sten. Ravnik, J. *et al.* Chiral domain dynamics and transient interference of mirrored superlattices in nonequilibrium electronic crystals (Dinamika kiralnih domen in prehodne interference zrcalnih supermrež v neravnovesnih elektronskih kristalih). *Sci. Rep.* 13, 19622 (2023).

EUV-modulator svetlobe na osnovi elektronskih faznih prehodov

V zadnjih dveh desetletjih so postali široko dostopni številni pristopi za generiranje kakovostnih koherentnih žarkov z energijo fotonov, ki sega v EUV in mehko rentgensko spektralno območje. Vendar pa odsotnost učinkovitih svetlobnih modulatorjev za to znanstveno in tehnološko uporabno energijsko območje znatno omejuje uporabo takšnih fotonov v industrijskih postopkih in za raziskave, zlasti kadar je potrebna malo bolj kompleksna postavitev optičnega sistema. Predstavili smo nov pristop k reverzibilnemu vtiskovanju holografske maske v elektronski Wignerjev kristalni material z velikostjo strukture pod 90 nm. Struktura je vtisnjena na časovni skali, krajši od 1 pikosekunde, z uporabo EUV laserskih sunkov



Slika 5: Štiri stopnje kristalizacije polaronov v urejene valove gostote naboja so bile izpeljane na podlagi pikosekundnih posnetkov lokalne strukture, določenih z analizo parno-distribucijske funkcije rentgenskih žarkov. Bozin, E. S. *et al.* Crystallization of polarons through charge and spin ordering transitions in 1T-TaS₂. *Nat. Commun.* 14, 7055 (2023).



Slika 6: Shematski prikaz eksperimentalne geometrije za testiranje EUV-modulatorja svetlobe

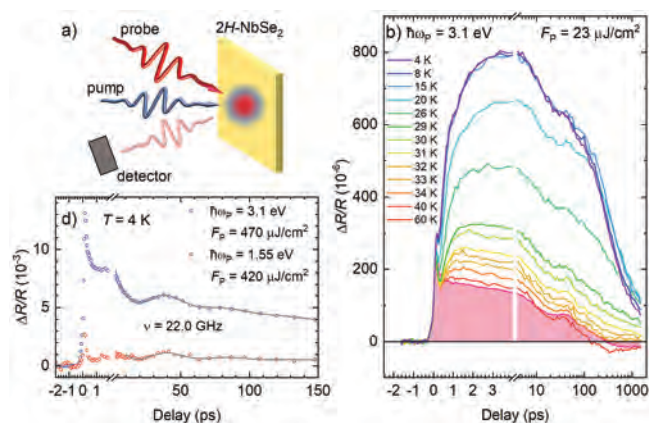
in deluje kot učinkovita uklonska mrežica, ki odbija EUV ali mehko rentgensko svetlobo. Vtisnjena nanostruktura je stabilna po umiku črpalnih žarkov pri nizkih temperaturah, vendar jo je mogoče zlahka izbrisati z enim samim grelnim žarkom. Modeliranje kaže, da lahko učinkovitost naprave preseže 1 %, kar se približuje najsoodnejšim jedkanim uklonskim mrežicam, vendar s prednostjo, da jo je mogoče programirati in nastaviti v širokem razponu valovnih dolžin. Opaženi učinek temelji na hitri spremembi kristalne rešetke pri prehodu med metastabilnimi elektronsko urejenimi fazami v dihalogenidu prehodne kovine. Predlagani pristop je potencialno uporaben za ustvarjanje nastavljenih modulatorjev svetlobe v spektralnih območjih EUV in mehkih rentgenskih žarkov. Poročilo je na voljo kot prednatis (arXiv 2311.08809) in je bilo predloženo recenzirani reviji.

Ultrahitna dinamika koreliranih sistemov

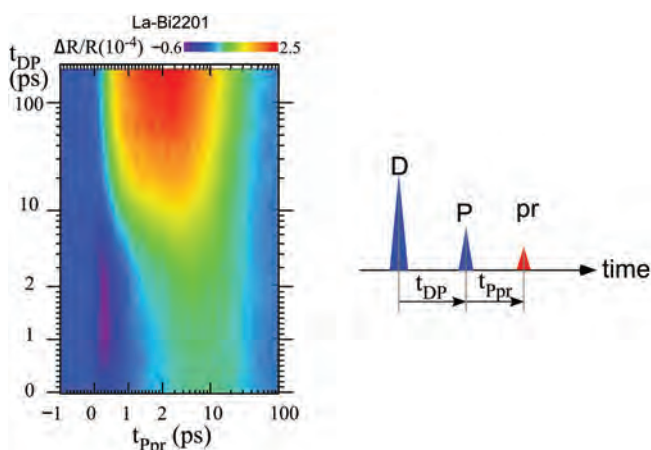
Raziskovali smo temperaturno (T) odvisno ultra hitro bližnje infrardečo dinamiko tranzientne reflektivnosti v plastovitem $2H-NbSe_2$, ki ga karakterizira soobstoječa superprevodna faza in faze z valom gostote naboja (CDW) z uporabo bližnjega infrardečega in vidnega vzbujanja. Pri vzbujanju za vidno svetlobo (400 nm) smo opazili počasen kanal relaksacije kvazidelcev visoke energije, ki je prisoten v vseh fazah. V fazi CDW opazimo značilno dodatno komponento tranzientnega odziva, ne glede na energijo vzbujevalnih fotonov. Komponento označuje odsotnost koherentnih oscilacij amplitude in relativno počasen, pikosekundni dvizni čas, kar je drugače kot pri večini tipičnih snovi s CDW. V fazi SC se pojavi še dodatna šibka komponenta, ki je povezana z optičnim uničenjem superprevodne faze. Pri relaksaciji tranzientne reflektivnosti v fazi CDW prevladujejo difuzijski procesi fononov z ocenjeno anizotropijo toplotne difuzijske konstante pri nizkih temperaturah okoli 30. Močno vzbujanje faze CDW razkriva šibko-netermalno uničevanje parametra reda CDW. Za razliko od sistemov CDW z večjo vrzeljo, kjer optično uničenje parametra reda vključuje le majhen delež fononskih prostostnih stopenj, je za uničenje v

$2H-NbSe_2$ značilno vzbujanje velikega števila fononskih prostostnih stopenj in bistveno počasnejša dinamika. Članek je bil objavljen v *Phys. Rev. B* 108, 235160 (2023).

Optimalno dopiran $Bi_2Sr_{1.7}R_{0.3}CuO_{6.8}$ ($R=Bi2201$, $R=Eu$ in La) smo raziskali z vidika fotoinducirane neravnovesne kvazidelčne dinamike visokotemperaturnih superprevodnih kupratov z nižjo kritično temperaturo T_c . Temperaturne odvisnosti superprevodnih (SC) in pseudorežnih (PG) odzivov kažejo, da se nered zunaj ravnine poveča z zamenjavo La z Eu , kar zmanjša temperaturo superprevodnega prehoda ter poveča energijo psevdoreže. Superprevodne fluktuacije so prisotne v obeh vzorcih, zlasti v $R=La$, kjer prodrejo globoko v stanje psevdoreže. Na podlagi fluence odvisnosti dinamike smo določili ravninsko gostoto optične energije za uničenja superprevodnega stanja. Ta je skladen s kvadratno odvisnostjo od kritične temperature, ki je bila predhodno ugotovljena za druge visokotemperaturne superprevodnike. Po optičnem uničenju se obnavljanje superprevodnega stanja začne šele po končanem obnavljanju stanja psevdoreže. Članek je bil objavljen v *Phys. Rev. B* 109, 014503 (2024).



Slika 7: Temperaturno odvisna tranzientna reflektivnost v $2H-NbSe_2$



Slika 8: Rezultati 3-sunkovne kalilne spektroskopije pri $T = 10$ K v $La-Bi2201$ (levo). Shematska ilustracija 3-sunkovnega eksperimenta z oznakami zakasnitev (desno). Po optičnem uničenju se superprevodna komponenta (rdeče) pojavi šele po obnovitvi psevdorežne komponente (vijoličasto).

Razvoj nove namizne linije za ekstremne ultravijolične žarke

V letu 2023 smo nadaljevali zagon sistema za časovno ločljivo resonančno elipsometrijo v ekstremnem UV (EUV) območju. Po pridobitvi prve svetlobe leta 2022 smo v letu 2023 močno optimizirali delovanje namestitve in zdaj rutinsko ustvarjamo EUV svetlobo v Ar, He in drugih žlahtnih plinih. Po pripravi svetlobnega vira smo začeli z zagonom polarizacijsko občutljivega detektorja. Dostopno spektralno območje pokriva absorpcijske M robove takih elementov, kot so Fe, Co, Ni, ki so zelo pomembni za študije ultra hitre dinamike v magnetnih materialih. Prvi spektri Co-Pt zlitin so bili že uspešno pridobljeni. Poleg magnetnih signalov naprava omogoča meritve elektronskih odzivov v navadnem spektroskopskem načinu z meritvijo intenzitete odbite svetlobe ali s polarizacijsko občutljivim detektorjem prek N in O prehodov težjih prehodnih kovin, kot so Mo, Ta, Ir, Pt itd.

Teraherčni načrt za znanost in tehnologijo do leta 2023

Teraherčno (THz) sevanje obsega široko spektralno območje znotraj elektromagnetnega spektra, ki sega od mikrovalov do daljnega infrardečega področja (100 GHz ~ 30 THz). Znotraj njegovih frekvenčnih meja je veliko različnih znanstvenih disciplin, ki so raziskovalcem predstavljale in še vedno predstavljajo tehnične izzive. V zadnjih 50 letih so se na primer zahteve znanstvene skupnosti močno razvile s potrebo po napredni instrumentaciji za podporo radioastronomiji, opazovanju Zemlje, napovedovanju vremena, varnostnem slikanju, telekomunikacijam, nedestruktivnem testiranju naprav in še veliko več. Poleg tega so aplikacije zahtevale razvoj tehnologije od laboratorijskega okolja do ponudbe v proizvodnem obsegu in uvajanja na terenu, od zahtevnih zemeljskih lokacij do globokega vesolja. Pri obravnavanju izzivov na tem področju smo sodelovali s skupino strokovnjakov pri zagotavljanju posnetka uvoda v trenutni status področja in zagotavljanju predlogov za vznemirljive smeri tehničnega razvoja v prihodnosti. Navsezadnje nameravamo, da načrt prikaže prednosti in koristi domene THz ter spodbudi nadaljnje raziskovanje področja v podporo znanstvenim raziskavam in komercialni realizaciji. Leitenstorfer, A. *et al.*, Teraherčni načrt za znanost in tehnologijo do leta 2023. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 56, 223001 (2023).

Teoretične študije na nanoskali

Zašumljene kvantne naprave srednjega obsega (NISQ) so v ospredju druge kvantne revolucije. Med njimi so kvantni žarilniki edini, ki trenutno ponujajo resnične, komercialne aplikacije na več kot 5000 kubitih. Velikost problemov, ki jih lahko rešijo kvantni žarilniki, je omejena predvsem z napakami, ki jih povzročajo okoljski šum in intrinzične pomanjkljivosti procesorja. Problematiko intrinzičnih pomanjkljivosti rešujemo z inovativnim pristopom k popravljanju napak, ki temelji na metodah strojnega učenja. Naš pristop prilagodi vhodni Hamiltonian, da se maksimizira verjetnost najdbe rešitve. V naših eksperimentih je predlagana metoda za popravljanje napak izboljšala delovanje žarjenja do tri redove velikosti in omogočila reševanje prej nepremostljivega, maksimalno kompleksnega problema. Rezultati so bili objavljeni v reviji *Quantum Mach. Intell.* 5, 4 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42484-022-00092-y>

Naredili smo teoretično modeliranje prepletenih domenskih struktur z uporabo klasičnega modela nabitega plina na rešetki, ki reproducira eksperimentalne strukture domenskih sten. Stanja superpozicije ni mogoče razumeti klasično znotraj modela koreliranih elektronov, ampak se izkaže za skladno z interferencami levo in desno ročnih valov naboja znotraj domen, omejenih z okoliškimi stenami domen, kar jasno razkriva interferenco Fermijevih elektronov z nasprotno kiralnostjo, kar ni posledica interference med plastmi, temveč interakcije med elektroni znotraj ene plasti, omejenih z mejami sten domen. Rezultati so bili objavljeni v *Sci Rep* 13, 19622 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46659-y>.

Naredili smo tudi modeliranje vbizganja nosilcev v Wignerjev kristal, ki razkrije izvor oblikovanja frakcioniranih, topološko prepletajočih se mrež, ki določajo prostorsko podlago, skozi katero se širijo enodelčne vzbuditve. Možnost manipulacije topološkega prepletanja takih mrež nakazuje pot naprej pri iskanju neulovljivih metastabilnih stanj v mnogodelčnih kvantnih sistemih. Rezultati so bili objavljeni v *Nat Commun* 14, 8214 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43800-3>.

Teorija je bila razvita o učinku odprtja reži na površini 3D topološkega izolatorja na njegove transportne lastnosti. Teorija hkrati pojasnjuje nenavadno magnetoupornost in nelinearnost Hallovega pojava, opazovanega v filmih (Bi,Sb)₂(Te,Se)₃. Rezultati so objavljeni v *Phys. Rev. B*, 108, 115401 (2023). <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.108.115401>.

Opazovani pojavi spinov na čistem metal-izolator vmesniku se običajno nanašajo na Rashba-Edelsteinov pojav, ki vodi do kopičenja spinov čez nekaj monoslojev. Pokazali smo, da prisotnost nečistoč na vmesniku bistveno razširi obseg potencialnih pojavov. Posebej se prikaže, da šibka sipanja na meji med kovino in izolatorjem privedejo do kinetičnega Rashba-Edelsteinovega pojava, kjer se kopičenje spinov pojavi na veliko večjem dosegu, primerljivem s povprečno prosto potjo. Poleg tega pri višjih redih interakcije med spinom in orbito šibka sipanja spremlja relaksacija spinov, kar vodi v pojav vmesniškega spin-Hall učinka – pretvorbo električnega toka v spinov tok na kovinski površini. Za razliko od običajnega spin-Hall pojava ta pojav vztraja celo znotraj Bornovega približka. Ta dva napovedana pojava lahko prevladujeta nad gostoto spinov in spinovim tokom v napravah srednje debeline. Rezultati so objavljeni v *Phys. Rev. Research*, 5, 033215 (2023). <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.5.033215>

Postopek priprave grafenske disperzije v PDMS s hkratno uporabo ultrazvoka in vakuuma

S kemijsko transportno reakcijo smo sintetizirali kristale različnih dihalogenidov prehodnih kovin (TMD), ki so služili kot osnovni material pri raziskavi njihovih lastnosti na številnih raziskovalnih področjih, vključno s superprevodnostjo, valovanjem gostote naboja, metastabilnosti in drugih. V kristalih 2H-NbSe₂ smo raziskovali temperaturno odvisnost ultrahitro bližnje infrardeče (NIR) prehodne dinamike odbojnosti. Na kristalih tantalovega diselenida 1T-TaS₂ smo izvedli in tudi objavili v znanstvenih člankih številne raziskave, vključno z raziskavami vizualizacije mikroskopske dinamike ultra hitre dinamike nastajanja skritega kvantnega stanja, raziskave domen

kiralnega valovanja gostote naboja (CDW) po laserskem dušenju z nizkotemperaturno vrstično tunelsko mikroskopijo (STM) in določanje energijske učinkovitosti spominskih naprav na podlagi konfiguracije naboja (CCM) v odvisnosti od velikosti naprave. Odobrena je bila evropska patentna prijava EP 4282905A1 za postopek priprave disperzije grafena in njegovih derivatov na podlagi zlahtnih kovin v PDMS s sočasno uporabo ultrazvoka in vakuumu. Poleg tega smo razvili novo metodo za preprosto ter učinkovito homogeno dekoracijo vodne disperzije grafena in grafenovega oksida z nanodelci zlata in platine.

Mehka snov

Tekoči kristali

Nedavno odkrite feroelektrične nematske tekočine odpirajo popolnoma novo poglavje v raziskovanju možnih uporab nematskih tekočih kristalov, ki presegajo dobro uveljavljen trg LCD-zaslonov, vreden več milijard evrov. Razvoj novih aplikacij, zlasti na področju nelinearne optike, je tesno povezan z našim temeljnim razumevanjem materialov in našo sposobnostjo procesiranja, krmiljenja in izdelave polarizacijskih struktur. V ta namen smo v sodelovanju z raziskovalci z Univerze v Gentu (Belgija), Univerze v Leedsu (Združeno kraljestvo) in Tehnološke univerze Južne Kitajske (Kitajska) predlagali inovativen pristop, kako izdelati električne polarizacijske strukture v feroelektričnih tekočinah. Pri tem smo izkoristili fleksoelektrično sklopitev nematskega reda in polarizacije ter uporabili tehnologijo fotovzorčenja površine. Podobno kot pri piezoelektrikih, kjer napetost povzroči spremembo polarizacije, lahko deformacije orientacijskega reda v nematskih materialih povzročijo spremembe električne polarizacije. Ustvarili smo vrsto pahljačastih struktur, ki ne le izkoriščajo, temveč tudi eksperimentalno vizualizirajo fleksoelektrično sklopitev med polarizacijo in pahljačasto deformacijo nematskega reda. V teh strukturah je predznak polarizacije določen s predznakom pahljačaste deformacije. Pokazali smo, da je mogoče usmerjati polarizacijo po kanalih pahljačaste deformacije tako v homogenem kot tudi ukrivljenem ozadju. To delo je bilo objavljeno v reviji *Nature Communications* 14, čl. 3029 (2023) in je bilo izpostavljeno kot uredniški poudarek (Editor's Highlight).

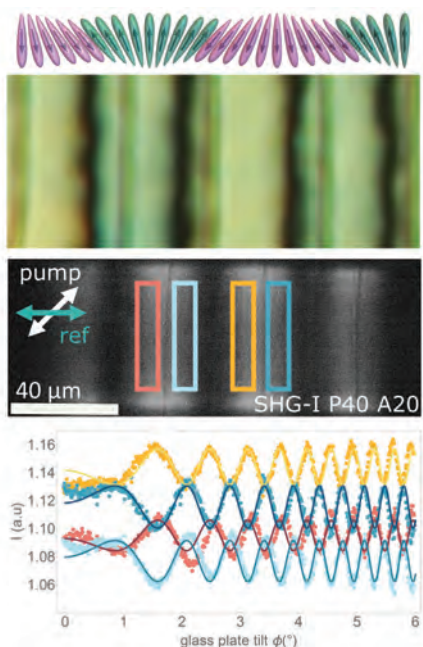
V sodelovanju z Univerzo v Baskiji (UPV/EHU) smo proučevali izvor presenetljivo velikih vrednosti dielektrične permitivnosti, poročanih za feroelektrične nematske tekočine. V ta namen smo raziskali vpliv debeline merilnega kondenzatorja na merjeno dielektrično permitivnost feroelektričnih nematskih materialov, pri čemer smo pokazali, da med merjeno permitivnostjo in debelino kondenzatorja obstaja linearna odvisnost, medtem ko se značilna relaksacijska frekvenca z njo obratnosorazmerno zmanjšuje. Meritve smo analizirali z uporabo različnih razpoložljivih modelov, relaksacijske procese pa smo pripisali kolektivnim in nekolektivnim dinamičnim procesom (*Journal of Molecular Liquids* 387, 122566 (2023) in *Journal of Chemical Physics* 159, 184502 (2023)). Proučevali

smo tudi učinek fotovoltaičnega polja, ki nastane na površini kristalov litij-niobata, dopiranega z železom, na kapljice feroelektričnega nematskega tekočega kristala in običajnega nematskega tekočega kristala, nanesene na površino kristala. Opazili smo širok nabor dinamičnih pojavov, vključno s tvorbo koničastih izrastkov, ki so se razvili v curke. To delo je bilo objavljeno v člankih *Opt. Mater. Express* (OME) 13, 282–294 (2023), *Liq. Cryst.*, 50, 1478–1485 (2023), in *Journal of Optical Microsystems* (JOM), 3, 041209-1-11 (2023).

V sodelovanju z Univerzo v Beogradu smo proučevali optično preklapljanje tekočih kristalov z upognjeno sredico. Osvetljevanje z UV svetlobo v nematski fazi ni imelo znatnega učinka, velik učinek pa je bil opažen v smektični fazi, predvsem v bližini prehoda v nematsko fazo. Določili smo karakteristični čas preklopa in relaksacije v osnovno stanje v odvisnosti od temperature, rezultate pa objavili v *Liquid Crystals*, 50, 1599 (2023).

Z gvaninom bogata DNK zaporedja (G4C2)n so povezana s številnimi nevrodegenerativnimi boleznimi, še posebej z amiotrofično lateralno sklerozo (ALS). V predhodnih raziskavah smo s pomočjo dinamičnega sipanja svetlobe in mikroskopije na atomsko silo potrdili, da najkrajša od teh zaporedij ($n = 1, 2, 4$) tvorijo DNA-kvadrupleksne strukture. Zdaj smo naše raziskave razširili na zgoščene raztopine (G4C2)n zaporedij, ki so bolj podobne pogojem, v katerih je molekula DNK v celičnih jedrih. Čeprav je bilo iskanje ustreznih eksperimentalnih pogojev velik izziv (DAAAM International scientific book 2023, 101–110 (2023)), smo s polarizacijsko optično mikroskopijo pokazali, da zaporedji (G4C2) in (G4C2)₂ lahko tvorita tekočokristalne faze v zgoščenih raztopinah.

V sodelovanju z Univerzo Nankai iz Tianjina na Kitajskem smo raziskali kompleksne konfiguracije holesteričnih tekočih kristalov, dopiranih z molekulami organskega barvila, ki so obetaven material za optično ojačenje v sklopu miniaturnih laserskih sistemov. Proučevali smo lasersko sevanje z dvojno valovno dolžino ter ortogonalnima krožnima polarizacijama, ustvarjeno v polimerno-holesterični tekočokristalni superstrukturi, in pokazali, da je zunanje električno polje mogoče uporabiti za uravnavanje relativne intenzitete dveh spektralnih komponent izhodnega laserskega žarka. Rezultati tega dela so bili objavljeni v *Polymers*, 15, 1226 (2023) in *Polymers*,



Slika 9: Shematski prikaz vzorčene orientacijske konfiguracije, ustrezna slika polarizacijske optične mikroskopije in slika interferometrije pri drugi optični harmonski frekvenci ter interferogram za enega od proučevanih vzorcev feroelektričnih nematskih tekočin

15, 4656 (2023). Prikazali in raziskali smo tudi lasersko sevanje v topološki superstrukturi na osnovi holesteričnih tekočih kristalov. Obstoj robustnega optičnega stanja v vidnem območju valovnih dolžin, ki se pojavlja na meji dveh topoloških podstruktur, zagotavlja izjemno stabilnost valovne dolžine laserja pri mehanskih motnjah, po drugi strani pa je valovno dolžino mogoče regulirati s spreminjanjem temperature materiala. Takšne kompozitne strukture na osnovi mehke snovi omogočajo realizacijo nastavljenih in kompaktnih topoloških fotonih naprav po nizki ceni. (*Laser & Photonic Reviews*, 17, 220643 (2023)).

Magnetni mehki materiali

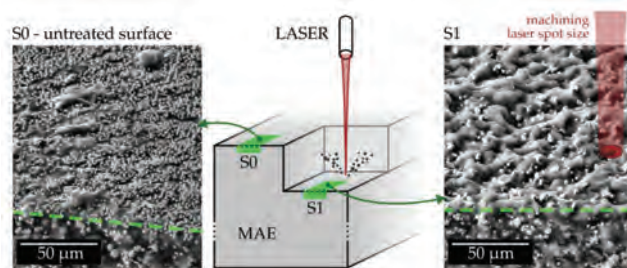
Magnetne raziskave mehkih snovi so potekale v tesnem sodelovanju z Laboratorijem za eksperimentalno mehko snov Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani, odsekom F-5 in K-8 na IJS ter z industrijskimi farmacevtskimi partnerji. Raziskave so bile osredotočene na dve tematici: koloidne disperzije magnetnih nanodelcev, ki tvorijo feromagnetne tekočine, in magneto-aktivne elastomere (MAE), v katerih so magnetni mikrodenci razpršeni v elastomerni mreži.

V sklopu tematike feromagnetnih tekočin smo proučevali vpliv izmeničnega magnetnega polja na oblike stabilne koloidne disperzije magnetnih nanoploščic. Pri tem smo opazili nastanek nenavadne izredno periodične črtaste strukture, vidne pod polarizacijskim mikroskopom. Eksperimentalno smo potrdili, da so posamezne črte magnetne domene, na mejah med njimi pa smo opazili tekočinski tok, ki teče izmenično v nasprotnih smereh, pravokotno na zunanje magnetno polje. Dvosmerni tok vzdolž domenskih sten smo pojasnili s spontanim zlomom kiralne simetrije, rezultate pa objavili v *Small*, 19, 2304387 (2023). Raziskave suspenzij magnetnih nanoploščic smo razširili tudi na proučevanje dinamike nastanka domen v omejeni tekočini in pojava magnetizacije zaradi urejanja delcev v tekočinskem toku. Rezultati dela so vodili do uspešnega zagovora doktorskega dela.

Nadaljevali smo sodelovanje z raziskovalci iz TU Braunschweig in Univerze Otto von Guericke, Magdeburg, Nemčija, pri raziskovanju vloge ionskega površinsko aktivnega sredstva v magnetni dinamiki spontano urejenih disperzij nanoploščic, kjer se je pokazalo, da nadzor elektrostatičnih interakcij z ionskim površinsko aktivnim sredstvom vodi do razvoja novih dinamičnih načinov v režimih magnetnega odziva (*Journal of Molecular Liquids* 382, 121900 (2023)). Naše študije suspenzij magnetnih nanoploščic smo razširili tudi na raziskave dinamike nastajanja domen v omejenih geometrijah in na pojav magnetizacije, ki jo povzroči tok. Rezultati tega dela so pripeljali do uspešnega zagovora doktorske disertacije.

Naše osrednje raziskovalno zanimanje za MAE je povezano z njihovo sposobnostjo ustvarjanja dinamično nastavljenih odzivov ali odzivov na zahtevo. MAE so mehki gumijasti kompoziti, ki se odzivajo na zunanja magnetna polja. Material, izdelan v sodelujoči skupini na OTH Regensburg v Nemčiji, smo uporabili za proučevanje učinka deformacije na valjasto obliko MAE, ko je bila ta izpostavljena homogenim magnetnim poljem (*Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 579, 170826 (2023)). Pomemben raziskovalni poudarek so bile površinske lastnosti MAE. Na površini MAE filmov smo z lasersko mikroobdelavo, izvedeno na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, izvedli dodatne modifikacije, bodisi spremembe hrapavosti ali pa generacijo periodičnih oblik, kot so lamele. Takšne modifikacije v kombinaciji z magnetnim poljem vodijo do nastavljenih površinskih interakcij z okoljem. Pokazali smo magnetno nadzorovan vpad vodnih kapljic, zlasti preklapljanje med režimoma odboja in odlaganja (*Advanced Materials Interfaces*, 10, 11, 2202471, (2023)). V drugi študiji smo lamelirane površine uporabili za transport in nastavljen velikostno ločevanje kapljic tekočine in majhnih trdnih objektov (*Advanced Engineering Materials*, 25, 22, 2301000, (2023)). Pokazali smo, da je mogoče dinamično preklapljati tudi odboj svetlobe od površine MAE, in razvili teoretični model za režim lepljenja lamel na površini MAE (*Soft Matter*, 19, 18, 3357–3365, (2023)). To je vključevalo ocene stabilnosti za tanko plast MAE, ki smo jih uporabili tudi za analize lamelne strukture na osnovi silicija, da bi razjasnili meje nove metode izdelave za izdelavo uklonskih mrežic za rentgenske žarke (*Advanced Functional Materials*, 33, 16, 2212660, (2023)).

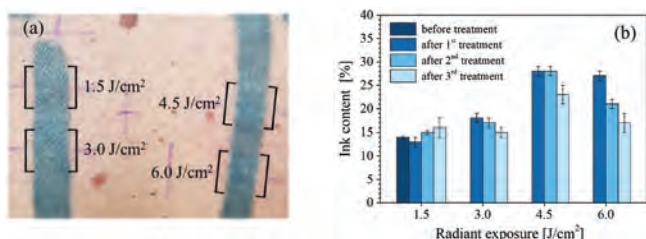
V sodelovanju z Inštitutom za biofiziko Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani smo prikazali novo metodo za nadzorovano porajanje lipidnih membran, ki so ključne za številne biomimetične aplikacije, kot je tarčna dostava zdravil. Uporabili smo mehanski udarni val, ki ga sproži fotoakustični pojav, ki nastane, ko optično neprozoren mikrodenci (ki je lahko hkrati tudi magneten) osvetli infrardeči laser optične pincete. Pokazali smo, da udarni val učinkovito naluknja membrane velikanskih enolamelarnih veziklov v neposredni bližini mikrodencov, ne da bi poškodoval bližnje celice, kar je zaželen rezultat za potencialno tarčno dostavo zdravil. Porajanje je nespecifično in deluje na membranah tako v tekoči kot v gel fazi. Ker lahko fotoakustični učinek sprožimo s standardno optično pinceto, ima ta metoda široko uporabnost v različnih eksperimentalnih okoljih na področju raziskovanja mehkih snovi. (*RSC Advances*, 35, 24830–24834 (2023)).



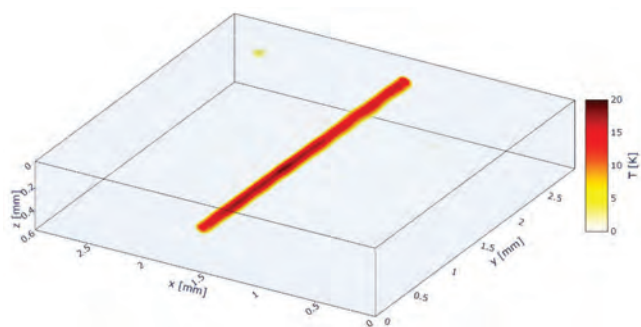
Slika 10: Magnetoaktivni elastomeri so kompozitni materiali, izdelani iz polimerne matrice, ki vsebuje magnetne mikrodenci, prikazane v beli barvi na SEM-slikah. Njihove številne zanimive površinske lastnosti lahko dodatno reguliramo z lasersko ablacijo, s katero izdelamo površinske strukture, ki se dinamično deformirajo v zunanjem magnetnem polju. Slika prikazuje lokalno spremembo topografije, ki je posledica uporabe laserske ablacije za mikrostrukturiranje.

Biomedicinska optika

Naš nedavno razviti pristop za neinvazivno karakterizacijo človeške kože, ki združuje difuzno refleksijsko spektroskopijo in sunkovno fototermalno radiometrijo z numeričnim modelom ztransporta svetlobe v močno sipajočih plastovitih strukturah, omogoča hkratno oceno več lastnosti človeške kože. Opisano tehniko smo prilagodili za objektivno karakterizacijo tetovaž in jo uporabili za primerjalno analizo laserskega odstranjevanja tetovaž z različnimi parametri obsevanja. Rezultati podajajo edinstven vpogled v relativno



Slika 11: (a) Fotografija črne tetovaže na koži prostovoljca 4 tedne po prvem laserskem obsevanju z različnimi gostotami svetlobne energije. (b) Ocenjena volumska gostota črnila po 1., 2. in 3. laserski terapiji z različnimi gostotami energije. (*Laserj surg. med.* 2023, 55, 724)



Slika 12: Tomografska slika človeškega lasu, suspendiranega v optično sipajočem agaroznem gelu na globini ~0,20 mm pod površino. Slika je bila rekonstruirana iz enega samega radiometričnega zapisa z uporabo kode po meri v samo 400 iteracijskih korakih. (*Proc. SPIE* 2023, 12629, 126290I)

zmanjševanje vsebnosti črnila in postopno večanje globine tetovaže v odvisnosti od protokola obsevanja. Sodelovanje s podjetjem Fotona, d. o. o., Ljubljana. (*Lasers surg. med.* 2023, 55, 724)

Našo inovativno tehniko za neinvazivno karakterizacijo strukture in sestave človeške kože smo prilagodili za objektivno spremljanje laserskega odstranjevanja črnih tetovaž z različnimi nastavitvami, kar je omogočilo edinstven vpogled v vključene procese.

Z zgoraj opisanim pristopom smo analizirali vpliv staranja na optične lastnosti človeške kože. Na podlagi meritev na 24 prostovoljcev (starih od 23 do 65 let) smo pokazali, da reducirani sipalni koeficient v dermisu v vidnem spektralnem območju s starostjo pada, v povprečju za 0,2 mm⁻¹ na desetletje ($p < 0,0001$). Do te ocene smo prišli po izločitvi veliko močnejšega vpliva individualno spremenljive količine krvi v koži z uporabo večkratne linearno-regresijske analize. (*Proc. SPIE* 2023, 12629, 126290J)

Implementirali in preizkusili smo nov princip tomografskega slikanja optično sipajočih vzorcev z uporabo fototermalne radiometrije. Medtem ko površino vzorca osvetlimo s kratkim laserskim sunkom, jo snemamo s hitro srednjeinfrardečo kamero. Z laserjem inducirano temperaturno polje nato rekonstruiramo z metodo visokodimenzionalne optimizacije in uporabo analitičnega popisa prevajanja toplote in infrardečega sevanja snovi. Z uporabo nelinearne kompresije merskih podatkov smo lahko v 45 sekundah rekonstruirali ostre slike človeškega lasu, nameščenega 0,2 mm pod površino optično sipajočega bloka agarja dimenzij 3 × 3 × 0,6 mm³, brez motečih artefaktov ali šuma v sliki. (*Proc. SPIE* 2023, 12629, 126290I)

Proučevali smo kolektivno dinamiko aktivnih delcev ter opazovali fluktuacije oblike in premikanje kapljic, v katere so aktivni delci ujeti, v odvisnosti od njihove dejavnosti.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Mraz, Anže, Diego, Michele, Kranjec, Andrej, Vodeb, Jaka, Karpov, Peter, Gerasimenko, Yaroslav, Ravnik, Jan, Vaskivskiy, Yevhenii, Venturini, Rok, Kabanov, Viktor V., Lipovšek, Benjamin, Topič, Marko, Vaskivskiy, Igor, Mihailović, Dragan, Manipulation of fractionalized charge in the metastable topologically entangled state of a doped Wigner crystal, *Nature communications*, 2023, 14, 8214, 1–8, DOI: 10.1038/s41467-023-43800-3
2. Jarc, Giacomo, Mathengattil, Shahla Yasmin, Mihailović, Dragan, Prelovšek, Peter, Fausti, Daniele, *et al.*, Cavity-mediated thermal control of metal-to-insulator transition in 1T-TaS₂, *Nature*, 2023, 622, 7983, 487–492, DOI: 10.1038/s41586-023-06596-2
3. Božin, Emil S., Abeykoon, A. M. Milinda, Conradson, Steven D., Baldinozzi, Gianguido, Šutar, Petra, Mihailović, Dragan, Crystallization of polarons through charge and spin ordering transitions in 1T-TaS₂, *Nature communications*, 2023, 14, 7055, DOI: 10.1038/s41467-023-42631-6
4. Sebastián Ugarteche, Nerea, Lovšin, Matija, Osterman, Natan, Petelin, Andrej, Drevenšek, Olenik, Irena, Mertelj, Alenka, *et al.*, Polarization patterning in ferroelectric nematic liquids via flexoelectric coupling, *Nature communications*, 2023, 14, 3029, DOI: 10.1038/s41467-023-38749-2
5. Derganc, Jure, Zemljč, Jokhadar, Špela, Majaron, Boris, Kokot, Gašper, Locally induced shockwaves for selective perforation of cargo loaded lipid vesicles with temporal and spatial control, *RSC advances*, 2023, 35, 24830–24834
6. Potrč, Melani, Vujica-Herzog, Nataša, Drevenšek Olenik, Irena, Spindler, Lea, Katalinić, Branko (ed.), Fabrication of containment cells for lyotropic liquid crystalline materials, *DAAAM International scientific book*, 2023, 101–110, 10.2507/daaam.scibook.2023.08

7. Shumilin, Andrei, Kabanov, Viktor V., Interface disorder as the cause for the kinetic Rashba-Edelstein effect and interface spin-Hall effect at a metal-insulator boundary, *Physical review research*, 2023, 5, 3, 033215, 033215-1-033215-9, DOI: 10.1103/PhysRevResearch.5.033215
8. Brence, Jure, Mihailović, Dragan, Kabanov, Viktor V., Todorovski, Ljupčo, Džeroski, Sašo, Vodeb, Jaka, Boosting the performance of quantum annealers using machine learning, *Quantum machine intelligence*, 2023, 5, 1, 4, DOI: 10.1007/s42484-022-00092-y

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 10. 12.–14. 12. 2023

Patent

1. Dragan Mihailović, Damjan Svetin, Anže Mraz, Rok Venturini, Memory device and method for its operation, EP 3 881 365 B1, European Patent Office, 11. 1. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA17140; Nano2Clinic - Nanomedicina raka - od laboratorijskih raziskav do klinične uporabe
COST Association AISBL
prof. dr. Boris Majaron
2. COST CA20129; Obsevalno in kemijsko nadzorovani procesi in z njimi povezane tehnologije
COST Association AISBL
doc. dr. Lea Spindler
3. H2020 - INTERFAST; Vratni vmesni stiki za hitro procesiranje informacij
European Commission
doc. dr. Tomaž Mertelj
4. H2020 - MAGNELIQ; Magneto-električna tekočina - Boljše zaznavanje
European Commission
doc. dr. Alenka Mertelj
5. Difrakcijske strukture na osnovi polimernih kompozitov s feroelektričnimi in feromagnetnimi tekočimi kristali
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Alenka Mertelj
6. Pot do mehkih multiferoičnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Alenka Mertelj
7. COST CA21144; Superprevodne nanonaprave in kvantni materiali za koherentno manipuliranje
COST Association AISBL
prof. dr. Viktor Kabanov

PROGRAMI

1. Medicinska fizika
prof. dr. Matija Milanič
2. Svetloba in snov
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
3. Neravnovesna dinamika kvantnih sistemov
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
4. Fizika kvantnih tehnologij
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

PROJEKTI

1. Metode in materiali za fotorejene matrike za kiralne tekočokristalne leče in ftonske komponente
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
2. Fourierova korelacijska mikroskopija za karakterizacijo delcev in velocimetrijo v kompleksni mehki snovi
prof. dr. Natan Osterman
3. Piezofotonski kompoziti na osnovi dvodimenzionalnih materialov za ultrazvočno stimulacijo v bioloških sistemih (2D-UltraS)
dr. Aleš Mrzel
4. Modeliranje neravnovesnih kvantnih materialov na različnih skalah
dr. Denis Golež
5. Tekoči magneti: temeljne raziskave feromagnetnega urejanja v tekočinah
Nerea Sebastian Ugarteche, Ph.D., Španija
6. Tehnologija površinsko selektivne hibridizacije za magneto-električne hibride
doc. dr. Alenka Mertelj
7. Magnetno odzivne površine za manipulacijo svetlobe in tekočin
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
8. Izkoriščanje magneto-mehanskega učinka pri zdravljenju nevrodegenerativnih bolezni
doc. dr. Alenka Mertelj
9. Spominske naprave na principu konfiguracije naboja in krmiljene s pomočjo SFQ pulzov
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
10. Sledenje oblikovanju domen med ultrahitrim preklapljanjem v van der Waals napravah
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
11. Časovno ločljiv tunelski mikroskop
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
12. Strukturiranje domen in topoloških defektov v feroelektričnih nematičnih tekočinah
doc. dr. Alenka Mertelj
13. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Jaka Vodeb

OBISKI

1. **mag. Martens Fabian** TU Dortmund University, Dortmund, Nemčija, 20. 2.–10. 3. 2023
2. **dr. Mamin Rinat**, Zavojsky Physical-Technical Inst., FRC Kazan Scientific Center of RAS, Rusija, 31. 3.–11. 4. 2023
3. **prof. dr. Martin Fally**, University of Vienna, Faculty of Physics, Dunaj, Avstrija, 17. 4.–18. 4. 2023
4. **prof. dr. Liana Luccetti**, Polytechnic University of Marche, Ancona, Italija, 19. 4. 2023–21. 4. 2023
5. **prof. dr. Hrvoje Petek**, The University of Pittsburgh, Pittsburg, ZDA, 9. 7.–11. 7. 2023
6. **mag. Alexander Jarosik**, Univerze Otto-von-Guericke, Magdeburg, Nemčija, 20. 8.–9. 9. 2023
7. **mag. Yu Wang** in **mag. Donghao Yang**, TEDA Institute of Applied Physics & School of Physics Nankai University, Kitajska, 14. 10.–28. 10. 2023
8. **prof. dr. Martin Fally**, University of Vienna, Faculty of Physics, Dunaj, Avstrija, 7. 12.–9. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA

1. **mag. Fabian Martens**: Ultrafast Coherent THz Lattice Dynamics Coupled to Spins in the van der Waals Antiferromagnet FePS₃, 2. 3. 2023
2. **dr. Dejan Bošnjaković**: Tunable optical diffractive structures from liquid crystalline materials, 6. 4. 2023
3. **dr. Liana Luccetti**: Optical control of ferroelectric liquids on ferroelectric solid substrates, 20. 4. 2023
4. **prof. Mariano Trigo**: Ultrafast x-rays reveal mesoscopic fluctuations and topological defects in materials driven out of equilibrium, 25. 5. 2023
5. **prof. dr. Hrvoje Petek**: How to couple dark and light: The magnetoelectric effect, 10. 7. 2023
6. **dr. Jaka Vodeb**: Exploring quantum many-body scars on a 5564 qubit quantum annealer, 3. 10. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Luka Cmok, Martin Čopič, Irena Drevenšek Olenik, Matija Lovšin, Alenka Mertelj, Natan Osterman, Nerea Sebastian Ugarteche, Udeležba na projektne srečanju FWO-Flanders, Kranjska Gora, 18. 1.–20. 1. 2023 (7)
2. Mojca Vilfan, Univerza v Mariboru, Maribor, 25. 2. 2023
3. Žiga Gregorin, ŠČ Nova Gorica, Nova Gorica, 20. 4. 2023 (1)
4. Dragan Mihailović, Tomaž Mertelj, Yevhenii Vaskivskiy, Rok Venturini, Superstripes 2023, Neapelj, Italija, 25. 6.–2. 7. 2023 (4)
5. Irena Drevenšek Olenik, Liquid Crystals Godon Research Conference 2023, Manchester, New Hampshire, ZDA, 24. 6.–1. 7. 2023 (1)
6. Gregor Jecl, Ultrafast X-Ray Summer School, Hamburg, Nemčija, 11. 6.–17. 6. 2023
7. Igor Vaskivskiy, Non-Equilibrium Quantum Materials Design, Ingelheim, Nemčija, 26. 6.–29. 6. 2023 (1)
8. Nerea Sebastian Ugarteche, Mojca Vilfan, International Conference on magnetic Fluids, Granada, Španija, 11. 6.–18. 6. 2023 (2)

9. Alenka Mertelj, Peter Medle Rupnik, Nerea Sebastian Ugarteche, ECLC 2023, Rende, Italija 10. 7.–14. 7. 2023 (3)
10. Rok Venturini, International Workshop Dynamical Control of Quantum Materials, Dresden, Nemčija, 22. 5.–26. 5. 2023 (1)
11. Barbara Paternoster, EARMA 2023, Praga, Češka, 24. 4.–27. 4. 2023
12. Tomaž Mertelj, Gregor Jecl, Andrei Shumilin, 4th Workshop of Cost Action magnetofon, Egmond aan Zee, Nizozemska, 6. 3.–10. 3. 2023 (2)
13. Neža Golmajer Zima, ASLMS 2023, Phoenix, ZDA, 13. 4.–16. 4. 2023 (1)
14. Nerea Sebastian Ugarteche, 49th German Crystal Conference, Stuttgart, Nemčija, 22. 3.–24. 3. 2023
15. Alenka Mertelj, Peter Medle Rupnik, Nerea Sebastian Ugarteche, Project meeting magneliq, Trst, Italija, 16. 3.–17. 3. 2023 (3)
16. Lea Spindler, Multi Chem 2023, MC meeting COST Action CA20129, Praga, Češka, 25. 4.–1. 5. 2023 (1)
17. Irena Drevenšek Olenik, Workshop on MSCA Doctoral Networks and Twinning: Advanced materials & process, Regensburg, Nemčija, 21. 3.–25. 3. 2023 (1)
18. Dragan D. Mihailović, Photon Science Division Proposal Review Committee meeting, Villigen, Švica, 18. 4.–24. 4. 2023
19. Mojca Vilfan, AYPPT 2023, Leoben, Avstrija, 13. 4.–15. 4. 2023
20. Viktor Kabanov, Andrei Shumilin, Interfast Meeting, Bologna, Italija, 11. 4.–13. 4. 2023 (2)
21. Gregor Jecl, Igor Vaskivskiy, European XFEL, Schenefeld, Nemčija, 2. 5.–8. 5. 2023 (2)
22. Viktor Kabanov, Tomaž Mertelj, Hui Zhao, EC project Interfast meeting, Milano, Italija, 5. 6.–6. 6. 2023 (3)
23. Neža Golmajer Zima, Boris Majaron, European Conferences on Biomedical Optics, Munchen, Nemčija, 24. 6.–30. 6. 2023 (2)
24. Jaka Strohsack, Andrei Shumilin, 13th Joint European magnetic Symposia, Madrid, Španija, 27. 8.–1. 9. 2023 (1)
25. Neža Golmajer Zima, Gregor Jecl, Matija Lovšin, Peter Medle Rupnik, ESSAI&ACAI 2023, Ljubljana, Slovenija, 24. 6.–28. 6. 2023
26. Luka Cmok, Irena Drevenšek Olenik, Matija Lovšin, Natan Osterman, Project meeting Flanders-Slovenia, Ghent, Belgija, 27. 8.–30. 8. 2023 (4)
27. Gašper Kokot, 4th International Conference on Advanced Polymer Science and Engineering, Valencia, Španija, 22. 10.–25. 10. 2023 (1)
28. Lea Spindler, CMD FisMat 2023, Milano, Italija, 4. 9.–7. 9. 2023 (1)
29. Aleš Mrzel, 13th International Advanced in Applied Physics & materials science congress & Exhibition, Mugla, Turčija, 10. 10.–21. 10. 2023
30. Viktor Kabanov, Workshop Superconductivity and magnetism in two Dimensional Films and heterostructures, Bath, Anglija, 29. 8.–1. 9. 2023 (1)
31. Tomaž Mertelj, Jaka Strohsack, Andrei Shumilin, Project meeting Interfast, San Sebastian, Španija, 24. 10.–28. 10. 2023
32. Dragan D. Mihailović, X Ultrafast Dynamics and Ultrafast Bandgap Photonics Symposium, Kreta, Grčija, 4. 6.–9. 6. 2023
33. Dragan D. Mihailović, APS Meeting, Las Vegas, ZDA, 7. 3.–12. 3. 2023
34. Igor Vaskivskiy, Nanoscale Transport Phenomena, Trst, Italija, 30. 11.–1. 12. 2023
35. Andrei Shumilin, Hasselt University seminar, Hasselt, Belgija, 13. 11.–17. 11. 2023
36. Dragan Mihailović, Yevhenii Vaskivskiy, Rok Venturini, Gregor Humar, Anže Mraz, Hui Zhao, Yelyzaveta Chernolevska, Igor Vaskivskiy, Gregor Jecl, Tomaž Mertelj, Jaka Strohsack, Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 10. 12.–14. 12. 2023
37. Andrei Shumilin, Interfast project meeting, Bologna, Italija, 5. 12.–9. 12. 2023 (1)
38. Peter Medle Rupnik, Otto-von Guericke-Universität Magdeburg laboratorijsko delo, Magdeburg, Nemčija, 15. 8.–5. 9. 2023
39. Gašper Kokot, University of Vienna- seminar, Dunaj, Avstrija, 4. 12.–6. 12. 2023
40. Dragan D. Mihailović, 7th InterAcademy Workshop in Ascona, 4th PSI Condensed Matter Summer Camp, Ascona, Zuož, Švica, 5. 8.–12. 8. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **dr. Steven Daniel Conradson**, *znanstveni svetnik*, odšel 1. 2. 2023
 2. **prof. dr. Irena Drevenšek Olenik***, *znanstveni svetnik*
 3. **prof. dr. Viktor Kabanov**, *znanstveni svetnik*
 4. **dr. Matjaž Lukač***
 5. **prof. dr. Boris Majaron**, *znanstveni svetnik*
 6. **doc. dr. Alenka Mertelj**, *pomočnik vodje oddelka*
 7. **doc. dr. Tomaž Mertelj**, *znanstveni svetnik*
 8. **prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović**, *znanstveni svetnik - vodja oddelka*
 9. **prof. dr. Matija Milanič***
 10. **dr. Aleš Mrzel**
 11. **prof. dr. Natan Osterman***
 12. **Nerea Sebastian Ugarteche**, *Doctora por la Universidad del Pais vasco*
 13. **doc. dr. Lea Spindler***
 14. **dr. Igor Vaskivskiy**
 15. **doc. dr. Mojca Vilfan**
- ### Podoktorski sodelavci
16. **dr. Yelyzaveta Chernolevska**
 17. **dr. Luka Cmok**
 18. **dr. Patricija Hribar Boštjančič**

19. **Qing Hu**, *PhD. Kitajska*, odšel 1. 7. 2023

20. **dr. Gašper Kokot**
21. **dr. Anže Mraz**
22. **Andrei Shumilin**, *PhD.*, Rusija
23. **dr. Ivan Spajić**
24. **dr. Jaka Vodeb**
25. **Hui Zhao**, *PhD. Kitajska*

Mlajši raziskovalci

26. **Neža Golmajer Zima**, *mag. fiz.*
27. **Žiga Gregorin**, *mag. fiz.*, odšel 1. 6. 2023
28. **Gregor Humar**, *mag. fiz.*
29. **Gregor Jecl**, *mag. fiz.*
30. **Matija Lovšin**, *mag. fiz.*
31. **Peter Medle Rupnik**, *mag. fiz.*
32. **Jaka Strohsack**, *mag. fiz.*
33. **Yevhenii Vaskivskiy**, *Master*, Ukrajina
34. **dr. Rok Venturini**

Strokovni sodelavci

35. **Davor Grabnar**, *dipl. inž. fiz. (VS)*
36. **Damjan Svetin**, *dipl. inž. fiz.*
37. **Petra Šutar**, *dipl. inž. kem. tehnol.*
38. **Damjan Vengust**, *mag. nan.*

Tehniški in administrativni sodelavci

39. Ula Groznik, dipl. upr. ved (UN), 25. 9. 2023 razporeditev v odsek F8

40. Nataša Kutnjak, dipl. trž. kom. (VS)

41. Barbara Paternoster, mag. posl. ved

42. Eva Trpin, dipl. soc. kult. (UN)

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Agency for Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japonska

2. ARESIS d. o. o., Ljubljana, Slovenija

3. Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, ZDA

4. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Nemčija

5. Cavendish Laboratory, Cambridge, Velika Britanija

6. Chinese Academy of Sciences, Institute of Physics, Peking, Kitajska

7. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija

8. École Normale Lyon, Lyon, Francija

9. École Polytechnique fédérale de Lausanne, Švica

10. Elettra-Sincrotrone Trieste S.C.p.A., Basovizza, Trst, Italija

11. Fotona, d. d., Ljubljana, Slovenija

12. Flatiron Institute, New York, ZDA

13. Fermi FEL, Bazovica, Italija

14. Graduate School of Science, Department of Physics, Osaka, Japan

15. Hokkaido University, Sapporo, Japonska

16. Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, University of Linz, Avstrija

17. Institute of Quantum Electronics, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Švica

18. Ioffe Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sankt Peterburg, Rusija

19. Istituto per lo Studio di Materiali Nanostrutturali-sezione di Bologna, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna, Italia

20. Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Nemčija

21. Kazan State University, Kazan, Rusija

22. Kotelnikov Institute of RadioEngineering and Electronics RAS, Moskva, Rusija

23. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, ZDA

24. Nankai University, TEDA Applied Physics School, Tianjin, Kitajska

25. National Academy of Sciences of Ukraine (NASU), Institute of Physics, Kijev, Ukrajina

26. National Institute for Material Science, Tsukuba, Japonska

27. National Taras Shevchenko University, Physics Faculty, Kijev, Ukrajina

28. NFFA, Basovizza, Trst, Italija

29. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norveška

30. Otto-von-Guericke-Universität magdeburg, Nemčija

31. OTH Regensburg, Nemčija

32. Paul Scherrer Institute, Zürich, Švica

33. Politecnico di Milano, Italija

34. Radboud University, Nijmegen, Nizozemska

35. Saarland University, Saarbrücken, Nemčija

36. Shanghai Jiao Tong University, Department of Physics, Shanghai, Kitajska

37. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

38. Technische Universität Wien, Dunaj, Avstrija

39. Tokyo University, Tokio, Japonska

40. Trinity College Dublin, Irska

41. University of Bologna, Italija

42. Università degli Studi di Napoli Federico II, Neapelj, Italija

43. Università di Pisa, Italija

44. Universität Wien, Dunaj, Avstrija

45. Universität Zürich, Švica

46. University of Bristol, Velika Britanija

47. University of California San Diego

48. University of California at Irvine, Beckman Laser Institute and Medical Clinic, ZDA

49. University of California at Riverside, ZDA

50. University of Colorado, Boulder, CO, ZDA

51. University of Duisburg-Essen, Faculty of Physics, Duisburg, Nemčija

52. University of Lorraine and Centrale Supélec, Metz, Francija

53. University of Luxembourg

54. University of Tsukuba, Japonska

55. Wigner Centre for Science, Budimpešta, Madžarska

56. Zhejiang University, Department of Physics, Hangzhou, Kitajska

57. Google Quantum AI, ZDA

58. Univerza v Beogradu, Srbija

59. Hiroshima University, Japan

60. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija

61. Ghent University, Ghent, Belgija

62. University of the Basque Country (UPV/EHU), Španija

63. Uppsala University, Švedska

64. University of Ljubljana, Slovenija

65. University College London, Velika Britanija

66. Technische Universität Dortmund, Dortmund, Nemčija

67. Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija

68. Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija

Glavna področja našega dela so:

- **teoretična, eksperimentalna in uporabna reaktorska fizika**
- **fizika plazme**
- **nevtronski transportni preračuni v fuzijskih reaktorjih**
- **medicinska fizika**

Na področju reaktorske fizike smo raziskave nadaljevali predvsem v smeri razvoja novih računskih in eksperimentalnih metod za analizo raziskovalnih in močnostnih fizijskih in fuzijskih jedrskih reaktorjev.

Glavni cilj projekta *Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu*, ki se je začel leta 2020, je proučiti omejitve pri obratovanju jedrskih elektrarn v načinu sledenja bremenu z jedrskega vidika na reaktorsko sredico in gorivo ter zagotoviti učinkovite rešitve operaterjem za optimizacijo obratovanja elektrarne. V letu 2023 smo se osredotočili na analizo učinkovite temperature goriva. Analize so pokazale, da so temperaturni modeli ključni za natančne izračune nevtronike v jedrskih reaktorjih. Če so vsi podatki na voljo, je za nadaljnjo uporabo priporočljivo uteževanje z uporabo skupne hitrosti reakcije na U-238. Če imamo na voljo le temperaturni profil, bi lahko uporabili Rowlandov model, vendar bi bilo treba korekcijski faktor povečati za zgorevanje goriva, ki presega 50 MWd/kgU, saj je učinkovita temperatura v tem območju podcenjena. Poleg tega smo objavili članek, v katerem smo analizirali izvedljivost uporabe jedrske energije za pokrivanje dnevnih nihanj sončne proizvodnje v Sloveniji do leta 2050. Študija temelji na modelu nelinearnega tlačnega reaktorja (PWR) z dvotočkovno kinetiko in novim poenostavljenim pristopom krmiljenja. Rezultati kažejo, da lahko jedrska elektrarna učinkovito nadomešča del pričakovanih nihanj moči. Pri analizi vpliva negotovosti jedrskih podatkov na rezultate simulacij smo v letu 2023 razvili novo metodo izračuna občutljivosti, ki temelji na sočasnem vzorčenju in omogoča učinkovitejšo širjenje negotovosti vhodnih podatkov pri analizah tranzientov v tlačnovodnih reaktorjih (PWR). Metoda je bila preizkušena na uranovi krogli Godiva (ICSBEP), kjer so rezultati pokazali dobro skladnost z referenčnimi podatki in visoko računsko učinkovitost.

Konec leta 2022 smo začeli tudi s projektom *Načrtovanje selektivnih katalitskih postopkov pretvorbe CO₂ v etanol*. V okviru projekta bomo proučili učinke ionizirajočega sevanja nevtronov in žarkov gama na razpad CO₂. Preizkuse bomo izvedli v izjemno intenzivnem polju sevanja raziskovalnega jedrskega reaktorja IJS TRIGA. Izvedli bomo obsevanja med obratovanjem v polju žarkov gama in nevtronov ter po zaustavitvi, samo z žarki gama. Obsevanja bomo izvedli v obsevalnih mestih in v ob sredici reaktorja. Obsevanja bomo natančno modelirali s pomočjo Monte Carlo modelov za transport delcev. Pri zasnovi katalizatorjev bomo optimizirali delež sevalne energije, ki povzroča trajen razkroj CO₂.

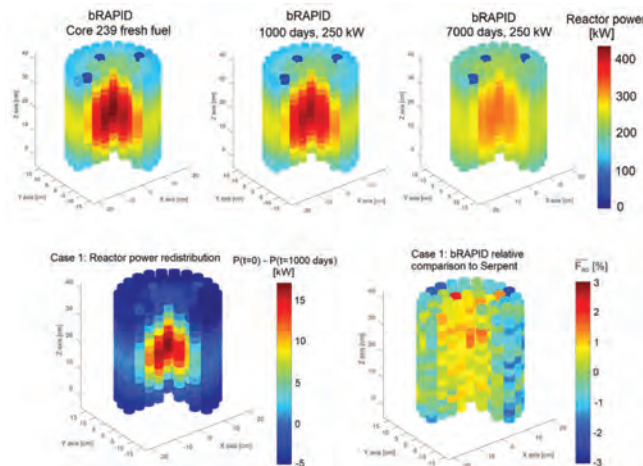
V raziskavi *Občutljivost fizikalnih parametrov jedrskega reaktorja na termične jedrske podatke* je cilj sistematično razviti in preveriti metode za izračun termičnih sipalnih presekov nevtronov za materiale, ki še niso vključeni v obstoječe podatkovne zbirke. Delo je bilo osredotočeno na cirkonijev hidrid v dveh najpogostejših fazah: fazo δ (razmerje 1.5) in fazo ϵ (razmerje 2), ki se pogosto uporabljata v raziskovalnih reaktorjih, kot je reaktor TRIGA. S programom VASP smo generirali medatomske sile, s programom Phonopy pa izračunali gostoto stanj. Vzpostavili in preizkusili smo postopek za generiranje termičnih sipalnih presekov, namenjenih uporabi v kodi Monte Carlo, ki temelji na moduli NJOY (LEAPR, RECONR, BROADR, THERMR in ACER). Pridobljene podatke smo validirali z eksperimentalnimi in drugimi izračunanimi vrednostmi ter tako potrdili zanesljivost in pravilnost naših metod. Rezultate za oba materiala smo preverili z referenčnimi eksperimenti, občutljivimi na material ZrH, in jih primerjali z drugimi dostopnimi izračuni.

Cilj raziskave z naslovom *Napredne metode za analizo termičnih sipalnih presekov* je pridobiti podatke sipalnih presekov termičnih nevtronov za še neraziskane materiale, kot so uran-hidridna goriva in diamant, ter na konvencionalne moderatorje (npr. polietilen, polimetil

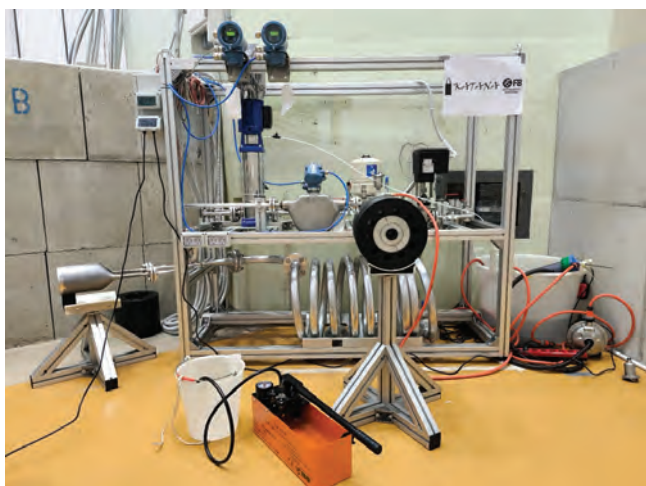


Vodja:

prof. dr. Luka Snoj



Slika 1: Primerjava 3D-porazdelitve moči reaktorja med svežim gorivom in z zgorelim gorivom 15.4 MWd/kg. Absolutna primerjava med svežim gorivom in porazdelitvijo moči je prikazana na spodnji levi sliki, relativna primerjava porazdelitve izvora fisije s programom Serpentom pa na spodnji desni sliki.



Slika 2: Obsevalna naprava z aktivirano vodo (KATANA) na raziskovalnem reaktorju TRIGA IJS.

metakrilat, teflon in grafit). Raziskovalno delo je bilo usmerjeno v proučevanje cirkonijevega hidrida, ki predstavlja enega ključnih materialov v jedrski tehnologiji zaradi svojih izjemnih moderacijskih in toplotnih lastnosti. Osredotočili smo se na njegovi dve najpogostejši kristalni fazi: δ -fazo (z razmerjem $H/Zr = 1,5$) in ϵ -fazo (z razmerjem $H/Zr = 2$). Ti dve fazi sta posebej pomembni, ker se pogosto uporabljata v raziskovalnih reaktorjih. Med njimi je najznačilnejši reaktor TRIGA, kjer cirkonijev hidrid deluje kot sestavni del goriva in moderator, kar pomembno vpliva na nevtronske in termične lastnosti sistema. Izvedli smo temeljne izračune v več zaporednih korakih in z več različnimi programi ter rezultate teh izračunov v vsakem koraku primerjali z eksperimentalnimi vrednostmi in drugimi izračunanimi vrednostmi. To smo storili z namenom, da bi potrdili zanesljivost in pravilnost naših izračunov. Generirani so bili podatki sipalnih presekov termičnih nevtronov za uporabo v Monte Carlo simulacijah, ki so bili validirani z eksperimentalnimi vrednostmi in z referenčnimi eksperimenti, občutljivimi na material ZrH. V nadaljevanju bomo za pridobitev termičnih sipalnih presekov uporabili različne programe in modele, da bi preverili njihovo skladnost ter ocenili zanesljivost in robustnost pridobljenih rezultatov.

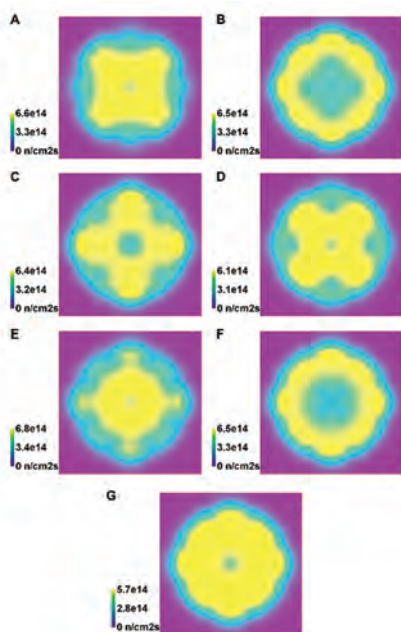
Evropski projekt TOURR, ki se je začel leta 2020, se je uspešno končal konec leta 2023. V sklopu projekta je bila v preteklem letu pripravljena skupna strategija za prihodnost evropskih raziskovalnih reaktorjev. Prav tako smo analizirali trenutno stanje raziskovalnih reaktorjev v Evropi (izkoriščenost, uporabo, starost, možnost za nadgradnje itd.) ter na podlagi rezultatov pripravili načrt za posodobitev trenutnih in gradnjo novih raziskovalnih reaktorjev v Evropi. Glavni zaključek projekta je, da bo Evropa v bližnji prihodnosti potrebovala najmanj dva nova raziskovalna reaktorja, enega, ki obratuje pri ničti moči in je namenjen za trening, izobraževanje in referenčne eksperimente, ter enega večnamenskega z močjo 5–10 MW, ki je namenjen obsevanju materialov, produkciji izotopov in na splošno nevtronom za večnamensko uporabo. Rezultati, pridobljeni med projektom, so bili leta

2023 predstavljeni na dveh mednarodnih konferencah, ANIMMA 2023 in RRFM 2023. Prav tako se je pripravil znanstveni članek rezultatov projekta za objavo v znanstveni reviji. Objava je pričakovana konec leta 2024 ali v začetku leta 2025. Produkt končanega projekta je tudi spletna platforma, ki omogoča raziskovalcem in znanstvenikom dostop do raziskovalne infrastrukture, v tem primeru do raziskovalnih reaktorjev. Platforma omogoča prijavo raziskovalnega reaktorja in posameznih raziskovalcev, kar rezultira v boljšo povezanost in povečuje uporabo že obstoječe infrastrukture. Reaktor TRIGA na IJS smo v sklopu projekta vključili v platformo. Tudi v letu 2023 smo ponudili podporo obratovanju Nuklearne elektrarne Krško (NEK). Po zaustavitvi, ki je bila posledica puščanja na segmentu priključnega cevovoda na reaktorsko posodo na sistemu za visokotlačno varnostno vbrizgavanje, smo sodelovali tudi pri sanaciji puščanja goriva in reprojektu sredice. Izvedli smo neodvisne projektne izračune za vmesni cikel 33.5 ter fizikalne teste (v nekoliko skrajšani obliki) ob začetku obratovanja po zaključenem remontu. NEK smo nudili tudi strokovno in računsko podporo za projekt bodočega suhega skladiščenja izrabljenih gorivnih elementov. Glavnina dela je bila namenjena občutljivostni analizi vpliva različnih parametrov na karakterizacijo izrabljenega goriva.

V okviru sodelovanja z Mednarodno agencijo za atomsko energijo (MAAE) smo sodelovali pri izvedbi ciljnega raziskovalnega projekta *Karakterizacija izrabljenega goriva*. Zaključili smo delo na področju analize vpliva 3D-efektov na karakterizacijo goriva in izračunov SKB-50 testnih primerov, kjer smo opravili tudi osnovno občutljivostno analizo.

V letu 2023 je naša ekipa sodelovala pri projektu *Support for implementation and calculations in the SFDS project*, katerega primarni cilj je podpora Jedrski elektrarni Krško pri načrtovanju in implementaciji suhega skladišča za izrabljeno gorivo. V dogovoru z NEK smo v letu 2023 opravljali analize in izboljšave, s katerimi bomo povečali natančnost izvornega člena izrabljenega goriva in zmanjšali negotovost prihodnjih izračunov jedrske sredice. V okviru projekta smo v zadnjem obdobju opravili posodobitve orodij za preračune parametrov sredice, ki omogočajo, da se kode prevedejo z modernimi prevajalniki in omogočajo sočasno poganjanje simulacij v okolju Linux.

V letu 2023 smo nadaljevali delo v okviru evropskega projekta EURAD, v katerem sodelujemo v skupini WP3 CORI – cementno organske interakcije med radionuklidi in WP8 SFC – karakterizacija izrabljenega goriva. Znotraj WP8 smo izvedli analizo SKB-50 testnih primerov, kjer



Slika 3: Porazdelitev nevtronskega toka v ravni xy približno na sredini aktivne višine sredice, normirana na največjo moč reaktorja 2 GW za cikel 28 v stanju HZP, izračunana z uporabo modela sredice MCNP za posamezno popolnoma vstavljeno regulacijsko palico. Normirane vrednosti nevtronskega toka so prikazane z barvami, od nizkih vrednosti v modri do visokih v rumeni. (A) sklop A. (B) sklop B. (C) sklop C. (D) sklop D. (E) sklop SA. (F) sklop SB. (G) vse palice izvlečene (ARO).

smo opravili tudi osnovno občutljivostno analizo. Proučili smo vpliv različnih temperaturnih modelov na spremembo izotopike jedrskega goriva med obratovanjem, kar posledično vpliva tudi na karakterizacijo izrabljenega goriva.

V letu 2023 smo nadaljevali sodelovanje v okviru evropskega projekta ENEEP – European Nuclear Experimental Educational Platform. Projekt je namenjen vzpostavitvi evropske platforme za eksperimentalno izobraževanje na področju jedrske znanosti in tehnike, ki bo omogočala izvajanje praktičnih izobraževalnih aktivnosti za študente vseh stopenj, predvsem magistrskih študentov, ter za mlade strokovnjake. Pri projektu sodelujemo s partnerji s STU (Slovaška), CTU (Češka), ATI (Avstrija) in UNIPV (Italija). V okviru projekta je bilo v letu 2023 organiziranih sedem demonstracijskih izobraževalnih tečajev (<https://www.eneep.org/courses/previous-courses/>), pri čemer je IJS sodeloval pri izvedbi štirih.

V okviru sodelovanja z Laboratorijem za instrumentacijo, senzorjev in dozimetrijo francoskega Komisariata za atomsko in alternativne energije (CEA – Cadarache) smo nadaljevali delo v okviru več bilateralnih ARRS-CEA raziskovalnih projektov in projektov v sodelovanju z industrijo.

V okviru bilateralnega ARRS-CEA projekta *Referenčni eksperiment za validacijo modeliranja odziva jedrske instrumentacije na nevtrone in žarke gama* smo v letu 2023 opravili obsežne izračune s programi Monte Carlo za namen simulacije eksperimentov, ki so bili opravljeni marca in aprila 2022 v sodelovanju z raziskovalci s CEA. Simulirali smo meritve aktivacijske hitrosti za različne jedrske reakcije z uporabo aktivacijskih folij, meritve fluksa nevtronov in žarkov gama z uporabo fisijskih in ionizacijskih celic ter samonapajalnih detektorjev nevtronov in žarkov gama. Izmerili smo tudi hitrosti doze nevtronov in žarkov gama z uporabo termoluminescentnih dozimetrom (TLD). Poleg simulacije eksperimentov je bila v letu 2023 izvedena tudi končna obdelava eksperimentalnih podatkov. S tem je bil projekt v letu 2023 uspešno zaključen. Rezultati nakazujejo, da so izmerjeni podatki zelo pomembni za nadaljnji razvoj računskih modelov in izboljšavo simulacij.

V letu 2023 smo nadaljevali s projektom ARRS-CEA *Nove jedrske reakcije inelastičnega sipanja za epitermično dozimetrijo*. Izvedena je bila eksperimentalna kampanja v sodelovanju s CEA, v kateri smo obsevali tako standardne materiale kot materiale za aktivacijo preko (n, n') reakcij na reaktorju TRIGA.

Leta 2023 smo začeli s projektom ARRS-CEA: *Aktivacija vode v jedrskih reaktorjih*, v okviru katerega se ukvarjamo s karakterizacijo sevalnega polja okrog zanke za aktivacijo vode KATANA, tako eksperimentalno kot preko razvoja modelov in metod za simulacijo aktivacijske zanke. Eden od ciljev projekta je zanko razviti v stabilen in dobro karakteriziran vir 6 in 7 MeV žarkov gama, kjer bomo s kolegi iz CEA sodelovali pri razširjanju območja karakteriziranosti detektorjev TLD na te energije žarkov gama.

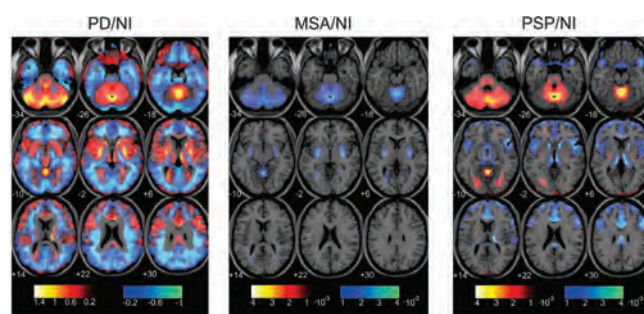
V letu 2023 smo za CEA izvedli eksperimentalno kampanjo na reaktorju TRIGA na IJS, v kateri smo testirali detektorje iz SiC, ki jih razvijajo v okviru jedrske instrumentacije.

V okviru projekta EURO-LABS smo izvedli preračune za potencialno obsevalno napravo, katere cilj je zmanjšati nizkoenergijsko komponento nevtronov, ki inducira radioaktivnost v materialih, vključenih v integrirana vezja, ne prispeva pa bistveno k sevalnim poškodbam na siliciju. V izračunih smo predvideli uporabo kadmija (Cd), ki absorbira termične nevtrone, v tangencialnem obsevalnem kanalu reaktorja IJS TRIGA, ki je trenutno namenjen obsevanju čipov in integriranih vezij. Ta kanal bomo opremili s cevno oblogo s Cd pločevino debeline 1,4 mm. Računsko smo raziskali vpliv dolžine cevne obloge. Izkazalo se je, da takšne obloge zmanjšajo poškodbe na siliciju za 4–5 %, medtem ko se aktivnost najbolj pogostih materialov v integriranih vezjih na račun zmanjšanja deleža termičnih nevtronov zmanjša od 10 % do dveh velikostnih redov in je odvisna od samih materialov.

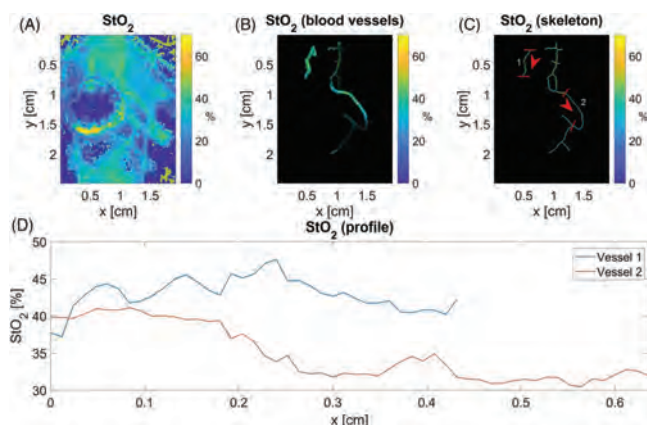
Na področju uporabe jedrskega sevanja kot katalizatorja za kemijske procese smo proučili literaturo in fizikalne procese, povezane z vplivom ionizirajočega sevanja na potek kemijskih reakcij. V literaturi se pri vrednotenju učinkovitosti sevanja za pospešitev kemijskih reakcij opazuje količina LET (angl. Linear Energy Transfer), ki poda povprečno deponirano energijo na enoto prepotovane razdalje. Izkazuje se, da lahko sevanje z enakim LET vzbudi različne reakcije, zato predlagamo novo metriko, in sicer povprečno razdaljo med reakcijami ter povprečno deponirano energijo na reakcijo v odvisnosti od vpadne energije delca. Proučili smo tudi vpliv dodatkov materialov, ki pretvarjajo ene vrste sevanja v drugo vrsto, navadno iz sevanja, ki interagira zelo redko, npr. nevtralni delci, kot so nevtroni in žarki gama v nabite delce ionizirajočega sevanja, kot so elektroni, žarki alfa, žarki beta ipd.

V letu 2023 smo v okviru projekta Aktivacijske meritve z uporabo nevtronskih filtrov za validacijo dozimetrijskih podatkov, ki ga financira IAEA, nabavili nevtronske filtre iz obogatenega borovega karbida in opravili preliminarne meritve v določenih obsevalnih kanalih v reaktorju TRIGA.

V letu 2023 smo nadaljevali sodelovanje pri evropskem projektu SANDA. IJS sodeluje na več področjih, npr. pri razvoju in uporabi programov za občutljivostne in negotovostne analize, preračune referenčnih



Slika 4: Karakteristični metabolični vzorci bolezni pri algoritmu za diferencialno diagnozo neurodegenerativnih bolezni na osnovi FDG-PET slikanja in SSM/PCA. PD/Ni določa bolnike s Parkinsonovo boleznijo, MSA/Ni bolnike z multiplo sistemsko atrofijo in PSP/Ni bolnike s progresivno supranuklearno paralizo.



Slika 5: Segmentacija žilja iz slike zasičenosti tkiva s kisikom. A) slika zasičenosti tkiva s kisikom, B) procesirana slika z avtomatsko B-COSFIRE segmentacijo, C) ogrodje žilja in D) profil zasičenosti s kisikom vzdolž segmentov, označenih na sliki C). Povzeto po: T. Tomanic et al 2023 J. Biophotonics 16(1).

eksperimentov ter uporabi obeh za validacijo in izboljšanje jedrskih podatkov. Razvili smo novo verzijo XSUN-2023 programskega paketa za občutljivostne in negotovostne analize in ga poslali v NEA Data Bank.

Na področju **nevtronskih transportnih preračunov v fuzijskih reaktorjih** smo nadgradili in nadaljevali delo in sodelovanje v okviru projektov EUROfusion in drugih kolaboracij za fuzijske naprave DEMO, IFMIF-DONES, JET in FNG.

Nadaljevali smo delo pri projektu za načrtovanje bodoče fuzijske elektrarne DEMO in prve analize za reaktor, ki bi bil uporabljen kot močan izvor nevtronov za testiranje komponent fuzijskih elektrarn – FUTURE, in sicer na področju nevtronskih preračunov poškodb materialov, jedrskega gretja komponent, aktivacije, zakasnele toplote in izračunov hitrosti doz. Naša naloga so preračuni aktivacije in zakasnele toplote v komponentah omejevalnika plazme pred ekvatorialnimi vrati za različne čase po zaustavitvi reaktorja. Scenarij obsevanja obsega približno 5 let neprekinjenega obsevanja in nato nekaj reaktorskih pulzov pri fuzijski moči 2 GW. Pri načrtovanju reaktorja DEMO sodelujemo tudi pri pregledu Varnostnega poročila z namenom posredovati čim več dolgoročnih priporočil. Naša skupina je pri tem osredotočena na analizo

konvencionalnih nevarnosti in kvantifikacijo virov. Nadaljevali smo tudi sodelovanje pri procesu integracije sistema za omejevanje plazme (limiter) in EC sistema za gretje plazme reaktorja DEMO, kjer smo računali jedrsko gretje, poškodbe materiala in produkcijo helija v različnih komponentah sistema, rezultati pa so bili posredovani kot vhodni podatki za druge analize, npr. za analize hlajenja komponent. Za FUTURE smo analizirali nevtronske karakteristike prvega modela divertorja in zgornjega porta ter predlagali nekaj možnosti za optimizacijo ščitenja komponent.

V letu 2023 smo nadaljevali s projektom *Optimizacija nevtronskih karakteristik fuzijskih reaktorjev s pomočjo strojnega učenja*, v okviru katerega smo delali na parametrizaciji enostavnih modelov tokamakov, ki so primerni za uporabo z avtomatiziranimi optimizacijskimi algoritmi. Genetske algoritme smo začeli uporabljati na enostavnih modelih, relevantnih za fuzijske reaktorje.

V letu 2023 smo nadaljevali sodelovanje na EUROfusion projektom WPENS (Work Package Early Neutron Source), ki je namenjen analizam v podporo IFMIF-DONES, naprave, ki bo na podlagi reakcije D+Li producirala velike količine nevtronov s fuzijsko relevantnimi energijami. V letu 2023 smo tako pogledali možnost izvedbe analize negotovosti v izračunani produkciji plinov zaradi negotovosti v jedrskih podatkih, računali hitrosti doz okrog stavbe, v kateri je IFMIF-DONES kot posledica direktnega sevanja in efekta sky-shine, modelirali pospeševalnik LIPAc, ki obratuje na Japonskem in testira tehnologije, ki jih potrebujemo za IFMIF-DONES, pripravljali model objekta IFMIF-DONES in testirali novo knjižnico jedrskih podatkov FENDL-3.2 za uporabo v izračunih IFMIF-DONES.

V letu 2023 smo sodelavci odseka F8 v sodelovanju s kolegi z več drugih evropskih institutov/laboratorijev/univerz analizirali rezultate, pridobljene pri eksperimentalnem delu na tokamaku Joint European Torus – JET, trenutno največjem fuzijskem reaktorju. Glavnina dela je bila namenjena preračunom nevtronskega polja na različnih lokacijah v tokamaku in primerjavi z eksperimentalnimi vrednostmi. Najpomembnejši rezultati so bili izračuni aktivacije vzorcev v JET za tritijevo (TT) eksperimentalno kampanjo, izvedeno v letih 2020–2021, ter primerjava z meritvami na pozicijah za dolgotrajna obsevanja vzorcev (angl. Long Term Irradiation Station (O-LTIS)) in poziciji KN2, namenjeni aktivacijskim folijam. Simulirali smo tudi odziv detektorjev pri različnih plazmah (DD, DT, TT), potrebnih za pripravo obsevanj za zadnjo kampanjo JET s tritijevo plazmo v letu 2023. V letu 2022 je bila zaključena postavitev eksperimenta aktivacija vode v hladilnem sistemu fuzijskega reaktorja JET (JET WACT), ki je služila kot priprava na prihajajočo kampanjo DTE3, ki je bila izvedena v letu 2023 in je bila prvi takšen eksperiment v D-T fuzijskem tokamaku na svetu. Služil bo kot osnova za preračune aktivacije vode v hladilnem sistemu tokamaka ITER.

V sklopu dveh doktorskih raziskovalnih nalog in v okviru dveh mednarodnih projektov EUROfusion ter CEA je odsek za reaktorsko fiziko (F8) v sodelovanju z Reaktorskim infrastrukturnim centrom (RIC) IJS načrtoval, izdelal in namestil novo obsevalno napravo z aktivirano vodo v radialnem kanalu reaktorja TRIGA na IJS, ki služi kot natančno določen in stabilen izvor visokoenergijskih karakterističnih žarkov gama in nevtronov. Obsevalna naprava KATANA, tj. zaprta vodna zanka, omogoča mnoge eksperimente, ki temeljijo na aktivaciji vode in so ključni za poglobljeno znanje na tem področju in dopolnitev obstoječih eksperimentalnih jedrskih podatkov. Dobro definirana in unikatna obsevalna naprava bo tako služila kot platforma za kalibracijo detektorjev ter eksperimentalno validacijo računskih metodologij in računalniških kod za modeliranje časovno in prostorsko odvisnih virov sevanja.

V okviru EUROfusion projektov Evropskega fuzijskega programa smo nadaljevali mednarodno sodelovanje, začeto pred več kot 20 leti, 21.–22. marca 2000, ko se je Slovenija s temi raziskavami prvič vključila v Evropski fuzijski program. Leta 2023 smo nadaljevali z razvojem metode za izračun občutljivosti integralnih parametrov

na spremembe v jedrskih podatkih z metodo sočasnega vzorčenja, rezultate pa smo objavili na konferenci M&C v Kanadi. Izvedli smo analizo vplivov novih jedrskih podatkov v testni knjižnici JEFF-4T za nuklide, katerih podatki so bili privzeti iz knjižnice TENDL na simulacije eksperimentov, pomembnih za fuzijo. Rezultati so bili predstavljeni na konferenci ISFNT-15, članek na to temo pa je že objavljen v posebni izdaji revije *Fusion Engineering and Design*.

V letu 2023 smo nadaljevali tudi aktivnosti na področju računske analize občutljivosti in negotovosti izmerjenih hitrosti reakcij z nevtroni, izvedenih v okviru referenčnega eksperimenta Water Cooled Lithium Lead (WCLL) na napravi z nevtronskim izvorom z energijo 14 MeV FNG, Frascati v Italiji. Eksperiment je sestavljen iz blokov svinca, znotraj katerih so dozimetri. Ti bloki imajo svoja dimenzijska odstopanja, ki so ocenjena na 1–2 mm. Sprva smo občutljivosti ocenili z uporabo determinističnih metod za transport nevtronov z izračunom t. i. prispevnega polja, ki pove, kateri deli geometrije najbolj vplivajo na končni rezultat. Nato smo z metodo za Monte Carlo transport delcev izračunali reakcijske hitrosti na dozimetrih znotraj svinčenih blokov, katerih položaj smo naključno vzorčili v vseh treh smereh, z normalno porazdelitvijo, s standardno deviacijo 2 mm. Iz rezultatov smo izluščili negotovosti meritev in prišli do občutljivostne enačbe prvega reda.

Sodelovali smo pri delu programske skupine fuzijske tehnologije, ki je začela delovati v letu 2019. V tej programski skupini so zbrani vodilni slovenski strokovnjaki na področju tehnologije fuzije in fizike plazme s štirih odsekov Instituta "Jožef Stefan" in dveh fakultet Univerze v Ljubljani.

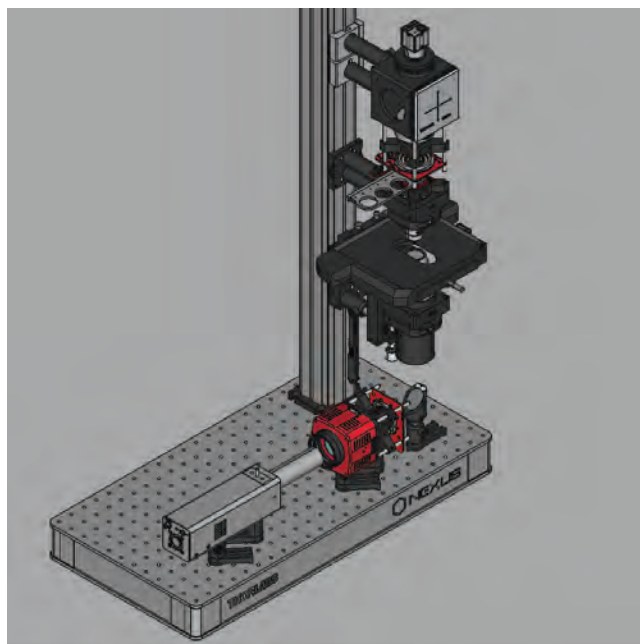
V letu 2023 smo aktivno sodelovali v okviru projekta *JET3-NEXP streaming benchmark experiment*, pri čemer smo nadaljevali analizo eksperimenta za določanje strujanja nevtronov s pomočjo termo-luminescentnih detektorjev in aktivacijskih folij. Izračuni nevtronske fluence ter reakcijskih hitrosti so bili izvedeni s pomočjo hibridnih (Monte Carlo/determinističnih) kod na več eksperimentalnih lokacijah znotraj zgradbe tokamaka. V letu 2023 smo ločeno izvedli izračune za vir nevtronov v plazmi DD kot dopolnitev reakcij TT in DT v plazmi. Zagotovljeni nevtronski donosi za tri komponente plazme so bili uporabljeni za izračun skupnega nevtronskega toka na lokacijah detektorjev. Izračuni so posebej težavni zaradi zelo majhnega fluksa nevtronov na lokacijah nekaterih izmed detektorjev in zapletene geometrije JET.

V letu 2023 smo na področju **medicinske fizike** poglobili usmeritev dela na večnivojsko slikanje z različnimi slikovnimi tehnikami, s posebnim fokusom na uporabi svetlobe. Sodelavci smo se ukvarjali z obdelavo in zajemom makroskopskih in mikroskopskih hiperspektralnih slik ter njunem medsebojnem povezovanju prek uporabe na novo vpeljane metode optične koherenčne tomografije (OCT). Nadaljevali smo z delom analize tkivnih fantomov za kalibracijo sistemov in verifikacijo algoritmov. Naše delo je obsegalo tudi mnoga mednarodna sodelovanja; s sodelavci z Univerze na Reki smo sodelovali pri razvoju pristopov vizualizacije in hrambe biomedicinskih optičnih podatkov, s sodelavci z Univerze Vanderbilt v Nashvillu, Tennesse, ZDA pa smo sodelovali pri razvoju metod optične koherenčne tomografije in luščenju podatkov o atenuaciji svetlobe iz OCT-slik.

Na področju mikroskopije smo v sklopu projekta *Modeli urejenosti za optično mikroskopijo bioloških tkiv* sodelavca dr. Jošta Stergarja implementirali in testirali nove algoritme za ocenjevanje strukture histoloških preparatov na podlagi njihove reprezentacije v Fourierjevem prostoru. V letu 2023 smo začeli z razvojem novega hiperspektralnega polarizacijsko občutljivega mikroskopa, ki bo omogočal opazovanje spektralnih lastnosti in dvodomnosti histoloških vzorcev, ki odražajo strukturno urejenost tkiva.

Poleg tega smo nadaljevali raziskave na področju analize slik pozitronske emisijske tomografije (PET). Osredotočali smo se na uporabo FDG-PET slikanja v nevrologiji pri diferencialni diagnozi nevrodegenerativnih bolezni. Delali smo na razvoju novega algoritma za diferencialno diagnozo nevrodegenerativnih bolezni, ki temelji na FDG-PET slikanju in SSM/PCA ter uporablja multinomsko logistično regresijo za razlikovanje med različnimi vrstami parkinsonizmov. S tem algoritmom smo dosegli visoke vrednosti območja pod krivuljo (AUC) za Parkinsonovo bolezen (PD) (AUC=0,93), progresivno supranuklearno paralizo (PSP) (AUC=0,95) in multiplo sistemsko atrofijo (MSA) (AUC=0,90). Poleg dobre natančnosti in zanesljivosti pri diagnosticiranju PD, MSA in PSP naš algoritem omogoča tudi razlikovanje med več vrstami parkinsonizmov, za svoje delovanje ne potrebuje kontrolnih slik zdravih subjektov in ponuja fleksibilnost pri vključevanju novih bolezni v diferencialno diagnozo.

Tudi v letu 2023 smo bili sodelavci F8 vključeni v projekt RAPTOR (Real-time adaptive particle therapy, <https://raptor-consortium.com>), ki ga financira Evropska komisija preko sheme evropske učne mreže European Training Network (ETN) pod okriljem mehanizma Marie Skłodowske Curie. Razvili smo postopek, ki z uporabo nevronske mreže omogoča prenos



Slika 6: CAD izris zasnove modularnega polarizacijskega hiperspektralnega mikroskopa.

označb struktur z načrtovalne slike računalniške tomografije (CT) na posnetke dnevne anatomije. Moč razvitega pristopa ni le v primerljivosti z dejanskimi slikami, ampak tudi v možnosti določanja negotovosti označb, kar bo omogočalo integracijo negotovosti v robustne metode adaptivnega načrtovanja in optimizacije terapije.

V letu 2023 smo ohranjali izredno tesno mednarodno sodelovanje z Univerzo v Wisconsinu, ZDA. Organizacijska povezanost skupin se je v tem letu nadaljevala z rednimi sestanki, namenjenimi predelovanju raziskovalnih tematik, ter drugimi aktivnostmi, kot so interne recenzije člankov itd.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Pungerčič, Anže, Mascolino, Valerio, Haghighat, Alireza, Snoj, Luka, Verification of a novel fuel burnup algorithm in the RAPID code system based on Serpent-2 simulation of the TRIGA Mark II research reactor, *Nuclear Engineering and Technology*, 2023, **55**, 10, 3732-3753, DOI: 10.1016/j.net.2023.06.040
2. Tomanič, Tadej, Rogelj, Luka, Stergar, Jošt, Markelc, Boštjan, Božič, Tim, Kranjc Brezar, Simona, Serša, Gregor, Milanič, Matija, Estimating quantitative physiological and morphological tissue parameters of murine tumor models using hyperspectral imaging and optical profilometry, *Journal of biophotonics*, 2023, **16**, e202200181, DOI: 10.1002/jbio.202200181
3. Stergar, Jošt, Hren, Rok, Milanič, Matija, Design and validation of a custom-made hyperspectral microscope imaging system for biomedical applications, *Sensors*, 2023, **23**, 5, 2374, DOI: 10.3390/s23052374
4. Vella, Daniele, Lukač, Matjaž, Jernejčič, Urban, Lukač, Nejc, Klaneček, Žan, Milanič, Matija, Jezeršek, Matija, Measurements of hair temperature avalanche effect with alexandrite and Nd:YAG hair removal lasers, *Lasers in surgery and medicine*, 2023, **55**, 1, 89-98, DOI: 10.1002/lsm.23622
5. Simončič, Urban, Milanič, Matija, Hyperspectral imaging with active illumination: a theoretical study on the use of incandescent lamp and variable filament temperature, *Sensors*, 2023, **23**, 23, 9326, DOI: 10.3390/s23239326
6. Simončič, Urban, Milanič, Matija, Tail artifact removal via transmittance effect subtraction in optical coherence tail artifact images, *Sensors*, 2023, **23**, 23, 9312, DOI: 10.3390/s23239312
7. Manojlović, Teo, Tomanič, Tadej, Štajduhar, Ivan, Milanič, Matija, Rapid extraction of skin physiological parameters from hyperspectral images using machine learning, *Applied intelligence*, 2023, **53**, 13, 16519-16539, DOI: 10.1007/s10489-022-04327-0
8. Klaneček, Žan, Hren, Rok, Simončič, Urban, Tašič Muc, Blaž, Lukač, Matjaž, Milanič, Matija, Finite Element Method (FEM) modeling of laser-tissue interaction during hair removal, *Applied sciences*, 2023, **13**, 8553, DOI: 10.3390/app13148553
9. Stokelj, Eva, Tomše, Petra, Tomanič, Tadej, Dhawan, Vijay, Eidelberg, David, Trošt, Maja, Simončič, Urban, Effect of the identification group size and image resolution on the diagnostic performance of metabolic Alzheimer's disease-related pattern, *EJNMMI research*, 2023, **13**, 47, DOI: 10.1186/s13550-023-01001-5
10. Olatunji, Elizabeth, Jeraj, Robert, Studen, Andrej, *et al.*, Challenges and opportunities for implementing hypofractionated radiotherapy in Africa: lessons from the HypoAfrica clinical trial, *ecancermedicalscience*, 2023, **17**, 1508, DOI: 10.3332/ecancer.2023.1508
11. Klaneček, Žan, Studen, Andrej, Hertl, Kristijana, Jarm, Katja, Krajc, Mateja, Vrhovec, Miloš, Jeraj, Robert, *et al.* Uncertainty estimation for deep learning-based pectoral muscle segmentation via Monte Carlo dropout, *Physics in Medicine & Biology*, 2023, **68**, 115007, DOI: 10.1088/1361-6560/acd221
12. Fortuna, Mark, Blanchard, Patrick, Čufar, Aljaž, Vallar, Matteo, Weisen, Henri, Žohar, Andrej, Snoj, Luka, *et al.*, Evaluation of neutron dose rates at the TCV tokamak facility, *Fusion engineering and design*, 2023, **191**, 113562, DOI: 10.1016/j.fusengdes.2023.113562
13. Goričanec, Tanja, Kos, Bor, Ambrožič, Klemen, Trkov, Andrej, Snoj, Luka, Kromar, Marjan, Determination of neutron flux redistribution factors for a typical pressurized water reactor ex-core measurements using Monte Carlo technique, *Frontiers in energy research*, 2023, **11**, 1137867, DOI: 10.3389/fenrg.2023.1137867
14. Domen Kotnik, Anil Kumar Basavaraj, Luka Snoj, Igor Lengar, Design optimization of the closed-water activation loop at the JSI irradiation facility, *Fusion Engineering and Design*, 2023, **193**, 2023, 113632, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2023.113632>

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Experimental Educational Course Experimental reactor and radiation physics, eksperimentalne vaje v okviru tečaja za študente iz UK Research and Innovation, Centres for Doctoral training (UKRI CDT), Velika Britanija, izvedba tečaja v okviru Odseka za reaktorsko fiziko in Reaktorskega infrastrukturnega centra (RIC) na Reaktorskem centru ter na TRIGA reaktorju, IJS, 19. 6.–22. 6. 2023

2. Tečaj *Pedagogical activities on nuclear instrumentation, in-pile experiments in the JSI-TRIGA Reactor, hands-on-activities, seminars, visits of installations and exhibitions within the framework of the MOBIL-APP project* za študente Univerze Aix Marseille, Marseille, Francija, izvedba tečaja v okviru Odseka za reaktorsko fiziko in Reaktorskega infrastrukturnega centra (RIC) na Reaktorskem centru ter na TRIGA reaktorju, IJS, 26. 6.–6. 7. 2023

Nagrade in priznanja

1. Anže Pungertič: nagrada za najboljši poster, Portorož, mednarodna konferenca *32nd International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 2023*, september 2023 z naslovom *Experimental and Computational Validation of Novel Depletion Algorithm in the RAPID Code System using JSI TRIGA reactor* v soavtorstvu z Alireza Haghighat, Luka Snoj
2. Tanja Goričanec: nagrada za najboljše mlade avtorje, Portorož, mednarodna konferenca *32nd International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 2023*, september 2023, članek z naslovom *Intermediate Range Detectors for Control Rod Worth Measurements with Rod Insertion Method* v soavtorstvu z Lukom Snojem in Marjanom Kromarjem

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Obsevanja za podjetje Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
dr. Vladimir Radulović
2. E-SiCure2 - Krepitev varnosti na mejah in v pristaniščih
NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Luka Snoj
3. IAEA RC 24324 - Določitev negotovosti lastnosti izrabljenega goriva glede na variacije materiala goriva in njegove zgodovine zgorevanja; CRP T13018: Karakterizacija izrabljenega goriva
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Marjan Kromar
4. H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov
European Commission
dr. Vladimir Radulović
5. H2020 - SANDA; Določitev natančnih jedrskih podatkov za energetsko in neenergetsko uporabo
European Commission
prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
6. H2020 - ARIEL; Pospeševalniki in raziskovalni reaktorji za izobraževanje in učenje
European Commission
prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
7. H2020 - TOURR; Optimizacija uporabe raziskovalnih reaktorjev v Evropi
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
8. Termični sipalni preseki iz osnovnih načel
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Aljaž Čufar
9. Metode za analizo termičnih sipalnih presekov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Trkov
10. Meritve in simulacije za podporo kalibracije detektorjev reaktorskih anti-nevtrinov iz serije Chandler za določitev izotopske sestave sredice reaktorja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Klemen Ambrožič
11. Referenčni eksperimenti tridimenzionalnega zgorevanja jedrskega goriva za namene razvoja in validiranja kode za zgorevanje goriva in transport nevtronov bRAPID na reaktorju IJS TRIGA Mark-II
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Luka Snoj
12. Transport nevtronov v fuzijskih in fisijskih reaktorjih s sklopitvijo deterministične in Monte Carlo metode
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Igor Lengar
13. Strukturna optimizacija detektorjev na osnovi SiC za aplikacije v jedrskih meritvah
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Aljaž Čufar
14. OE - EUROfusion; WP08: DES-1,2_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Čufar
15. OE - EUROfusion; WP19: SAE-1_OE-FU
European Commission
Domen Kotnik, mag. jedr. teh.
16. OE - EUROfusion; WP10: BB_OE-FU
European Commission
dr. Gašper Žerovnik
17. OE - EUROfusion; WP06: PrIO-5_OE-FU; WPPrio-ITERneutronics&Safety
European Commission
prof. dr. Igor Lengar
18. OE - EUROfusion; WP04: AC-TSVV-4,7_OE-FU
European Commission
dr. Jernej Kovačič
19. OE - EUROfusion; WP25: PMU_OE-FU, RU-Mgmt-1_OE-FU
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
20. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
21. OE - EUROfusion; WP20: ENS_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Čufar
22. OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
23. OE - DETMED; Novi koncepti detektorjev za medicinske instrumente
European Commission
dr. Klemen Ambrožič
24. Meritve aktivacije za validacijo dozimetričnih podatkov z uporabo filtrov nevtronskega spektra
IAEA - International Atomic Energy Agency
dr. Vladimir Radulović
25. Strokovno izpopolnjevanje IAEA štipendista g. Jeffrey D. Tare, Filipini, (FS-PHI0016-2302462), 18. 09. 2023 - 10. 11. 2023
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Luka Snoj

PROGRAMI

1. Medicinska fizika
prof. dr. Robert Jeraj
2. Reaktorska fizika
prof. dr. Luka Snoj
3. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Boštjan Končar

PROJEKTI

1. Načrtovanje selektivnih katalitskih postopkov pretvorbe CO₂ v etanol – UliSess
prof. dr. Luka Snoj
2. Občutljivost fizikalnih parametrov jedrskega reaktorja na termične jedrske podatke
prof. dr. Andrej Trkov

- Nove jedrske reakcije inelastičnega sipanja za epitermično nevtronsko dozimetrijo
dr. Gašper Žerovnik
- Jedrsko sevanje kot katalizator kemijskih procesov
dr. Vladimir Radulović
- Aktivacija vode v jedrskih reaktorjih
dr. Aljaž Čufar
- Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
prof. dr. Luka Snoj
- Učinkovitost izrabe materialnih virov v majhnih modularnih reaktorjih
prof. dr. Andrej Trkov
- Optimizacija nevtronskih karakteristik fuzijskih reaktorjev s pomočjo strojnega učenja
dr. Aljaž Čufar
- Modeli urejenosti za optično mikroskopijo bioloških tkiv
dr. Jošt Stergar
- Neodvisni nadzor pri pripravah in izvedbi prve kampanje prenosa izrabljenega goriva v suho skladišče
Elektroinštitut Milan Vidmar
dr. Dušan Čalič
- Fuzijske tehnologije
prof. dr. Igor Lengar
- Obsevanja na reaktorju TRIGA
prof. dr. Luka Snoj
- Obsevanje kapsul FT-TIMS na reaktorju TRIGA za 2020-2023
CEA - Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
prof. dr. Luka Snoj
- Eksperimentalno testiranje akvizicijskega sistema MONACO na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay
dr. Vladimir Radulović
- Testiranje nevtronskih detektorjev SiC na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay
dr. Vladimir Radulović
- Razvoj elektronskih sistemov za izven središčno jedrsko instrumentacijo
CEA Saclay
dr. Vladimir Radulović
- Poletna šola jedrske tehnike za študente King Fahd Univ. of Petroleum & Minerals, Ljubljana, Slovenija, od 03. 07. 2023 do 14. 07. 2023
King Fahd University of Petroleum & Minerals
dr. Vladimir Radulović

- Pedagoške aktivnosti na področju jedrske instrumentacije za Univerzo Aix-Marseille
Aix Marseille Université
dr. Vladimir Radulović
- Izvedba tečaja *Experimental Reactor and Radiation Physics* za UK Centres for Doctoral Training, od 19. 6. 2023 do 22. 6. 2023
Imperial College London
prof. dr. Luka Snoj

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

- L2-2612 Sofinanciranje L-projekta: Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
GEN energija, d. o. o.
prof. dr. Luka Snoj
- Fizikalni testi za Cikel 32 - Reload Operational Core Analysis, Post Refuelling Nuclear Design Check Tests, PIS and KFSS Cycle Specific Data for Future Fuel Cycles
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
- Fizikalni testi za Cikel 33 - Reload Operational Core Analysis, Post Refuelling Nuclear Design Check Tests, PIS and KFSS Cycle Specific Data for Future Fuel Cycles
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
- Podpora pri pregledih in izračunih v projektu SFDS za 2022 - 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
prof. dr. Luka Snoj
- Fizikalni testi za Cikel 34 - Reload Operational Core Analysis, Post Refuelling Nuclear Design Check Tests, PIS and KFSS Cycle Specific Data for Future Fuel Cycles
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
- Sofinanciranje projekta L2-50051 „Učinkovitost izrabe materialnih virov v majhnih modularnih reaktorjih“
GEN energija, d. o. o.
prof. dr. Andrej Trkov
- Forced Outage 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar

OBISKI

- Caleb Barnes, Virginia Tech University, ZDA, 23. 9.-23. 12. 2023
- dr. Christophe Domergue, Hervé Philibert, CEA, Cadarache, Francija, 5. 6.-9. 6. 2023
- dr. Tim Valentine, dr. Andy Worrall, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, in dr. Sean Tyson, DOE, ZDA, 8. 9. 2023
- Eleni T. Mowery, MIT, Springfield, ZDA, 9. 6.-28. 8. 2023
- Jeffrey D. Tare, IAEA - International Atomic Energy Agency, Manila, Filipini, 18. 9.-10. 11. 2023
- Muhammad Zaki Abbas Awan iz fakultete Politecnico di Milano, Milano, Italija, 1. 7. 2023-30. 4. 2024
- prof. Alireza Haghighat, director, Nuclear Engineering, Virginia Tech, Virginia, ZDA, 24. 5.-27. 5. 2023
- prof. Andreas Solders, Uppsala University, Uppsala, Švedska, 3. 10. 2023
- prof. dr. Piero Ravetto, Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, NEMO Group, Torino, Italija, 22.-27. 10. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Anže Pungerčič, Skripta za dodajanje izotopske sestave gorivnih elementov v obstoječe MCNP modele reaktorja TRIGA, 30. 5. 2023
- Gašper Žerovnik, Burnup determination in spent nuclear fuel, 20. 6. 2023
- Maciej Wrobel, Utilization of blood pulse dynamics for non-invasive Raman spectroscopy blood analysis, 21. 9. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Aljaž Čufar, Domen Kotnik, Igor Lengar, Jan Malec, udeležba na konferenci ISFNT 2023 s prispevkom, CIEMAT, Alfredo Kraus Auditorium, Las Palmas de Gran Canaria, Španija (4 prispevki), 10. 9.-16. 9. 2023
- Aljaž Čufar, udeležba na DEMO Neutronics Meeting (EUROfusion DCT), IPP Garching, Garching, Nemčija, 20. 2.-22. 2. 2023
- Aljaž Čufar, udeležba na WPENS Technical Meeting #15, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Nemčija, 30. 5.-1. 6. 2023

- Andrej Trkov, udeležba na Consultancy Meeting of the Int.Nucl. Data Evaluation Network (INDEN) on the Eval.Data of Structural Materials, MAAE - Mednarodna agencija za atomsko energijo, Dunaj, Avstrija, 17. 12.-21. 12. 2023
- Andrej Trkov, udeležba na Technical Meeting of the Int.Nucl. Data Evaluation Network on Nucl.Data Evaluat.of Fissile Nuclides, MAAE - Mednarodna agencija za atomsko energijo, Dunaj, Avstrija, 19. 11.-23. 11. 2023
- Andrej Trkov, udeležba na Consult.Meeting on Thermal Capture and Gamma Emission in na Consult.Meeting on Further Development of the Fusion ..., Mednarodna agencija za atomsko energijo - MAAE, Dunaj, Avstrija, 22. 10.-2. 11. 2023
- Andrej Trkov, udeležba na Consultancy Meeting to Update the Pu-239 Resonance Evaluation up to 5 keV, Mednarodna agencija za atomsko energijo, Dunaj, Avstrija, 7. 5.-12. 5. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na Gašper Žerovnik, *School on nuclear data for depletion calculations in the frame of the SANDA project*, JRC Geel, Geel, Belgija, 10. 9.-17. 9. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na tečaju *Core modelling for core design*, Universitat Politècnica de Valencia (UPV), Valencia, Španija, 26. 11.-2. 12. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na na tečaju *Deterministic modelling of nuclear reactor multi-physics*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Švedska, 10. 12.-16. 12. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na na tečaju *Nuclear data for energy and non-energy applications*, Universitat Politècnica de Valencia (UPV), Valencia, Španija, 3. 9.-10. 9. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na tečaju *Neutron Transport at the Fuel Cell and Assembly Level*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Švedska, 15. 10.-21. 10. 2023
- Anže Mihelčič, udeležba na začetnem tečaju *NEA SERPENT-2 for Beginners*, NEA Headquarters, Pariz, Francija, 13. 11.-18. 11. 2023
- Anže Pungerčič, Bojan Žefran, Dušan Čalič, Ingrid Švajger, Julijan Peric, Klemen Ambrožič, Luka Snoj, Marjan Kromar, Sebastian Pleško, Slavko Slavič, Tanja Goričanec, udeležba na konferenci *Nuclear Energy for New Europe - NENE 2023*, Portorož, 11. 9.-14. 9. 2023 (10 prispevkov)
- Anže Pungerčič, Domen Kotnik, Julijan Peric, Klemen Ambrožič, Luka Snoj, Vladimir Radulović, Ylenia Žiber, udeležba na konferenci ANIMMA 2023 s prispevkom, Real Collegio, Lucca, Italija 13. 6.-17. 6. 2023 (8 prispevkov)
- Anže Pungerčič, Luka Snoj, udeležba na 6. sestanku za evropski projekt TOURR z zaključnim workshopom ter na 20. obletnici delovanja ENEN, Fondation Universitaire Stichting, Bruselj, Belgija, 19. 9.-23. 9. 2023
- Anže Pungerčič, Luka Snoj, udeležba na sestanku za evropski projekt TOURR, Fondation Universitaire Stichting, Bruselj, Belgija, 28. 2.-2. 3. 2023
- Bor Kos, Luka Snoj, strateški posvet z dr. R.Wheelerjem glede prihodnosti odseka F-8 in o svetovanju pri pridobivanjih večjih EU projektov, Univerza v Reykyaviku, Reykyavik, Islandija, 26. 11.-2. 12. 2023
- Domen Kotnik, Luka Snoj, Udeležba na konferenci RRFM 2023, Radisson Blu Astrid Hotel, Antwerp, Belgija, 16. 4.-20. 4. 2023 (2 prispevka)

20. Gašper Žerovnik, Marjan Kromar, udeležba na srečanju EURAD Task 2 Workshop, KIT, Karlsruhe, Nemčija, 10. 5.–12. 5. 2023
21. Gašper Žerovnik, udeležba na sestanku JEFF-apr23 s prispevkom + udeležba na JEFF CG (Co-ordination Group), OECD/NEA, NEA Headquarters, Pariz, Francija, 23. 4.–28. 4. 2023 (1 prispevek)
22. Igor Lengar, udeležba na 2023 WPSAE Progress meeting, EUROfusion TUV, Garching, Nemčija, 27. 11.–29. 11. 2023
23. Igor Lengar, udeležba na 60. Governing Board Meeting F4E, F4E, Barcelona, Barcelona, Španija, 3. 12.–6. 12. 2023
24. Igor Lengar, udeležba na ADVANTG training, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, ZDA, 28. 5.–4. 6. 2023
25. Igor Lengar, udeležba na Fusion Neutronics Meeting s predstavitev: Neutron/gamma transport validation using water activation loop at JSI TRIGA Reactor, Knoxville Convention Centre, Knoxville, Tennessee, ZDA, 23. 1.–27. 1. 2023
26. Igor Lengar, udeležba na srečanju Science Tech: priložnosti za sodelovanje v IFMIF-DONES, Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana, 23. 5. 2023
27. Igor Lengar, udeležba pri izračunih in eksperimentu na JET v sklopu PrIO, JET, Abingdon, Velika Britanija, 14. 8.–18. 8. 2023
28. Jan Malec, udeležba na konferenci MC 2023, Sheraton Fallsview Hotel, Niagara Falls, Kanada, 12. 8.–18. 8. 2023
29. Jan Malec, udeležba s prispevkom na konferenci *Prehod v nizkoogljeno družbo: kako pri prižganih lučeh ...*, Tri lučke, Sremič, 19. 5. 2023
30. Jošt Stergar, udeležba na APS March Meeting s predstavitev prispevka, Caesars Forum Convention Center, Las Vegas, Nevada, ZDA, 6. 3.–14. 3. 2023 (1 prispevek)
31. Jošt Stergar, udeležba s prispevkom na konferenci ECBO (European Conferences on Biomedical Optics), SPIE, München, Nemčija, 24. 6.–1. 7. 2023 (1 prispevek)
32. Julijan Peric, udeležba na Poletni šoli GRE@T-PIONEER hands-on exercises on the CROCUS training reactor, EPFL, Lozana, Švica, 28. 5.–3. 6. 2023
33. Julijan Peric, udeležba na Poletni šoli ANIMMA 2023, Real Collegio, Lucca, Italija, 7. 6.–13. 6. 2023
34. Julijan Peric, udeležba pri meritvah (projekt EUROfusion), JET, Abingdon – Culham, Velika Britanija, 22. 6.–26. 6. 2023
35. Julijan Peric, udeležba pri meritvah (projekt EUROfusion), JET, Abingdon, Velika Britanija, 15. 6.–19. 6. 2023
36. Klemen Ambrožič, Vladimir Radulović, udeležba na sestanku v okviru projekta o novem benchmarku na reaktorju TRIGA, CEA Cadarache, Cadarache, Francija, 16. 10.–19. 10. 2023
37. Luka Snoj, udeležba na 9. sestanku Koordinacijskega odbora glede servisiranja NSRAO iz NEK, FOND NEK, Zagreb, Hrvaška, 18. 5. 2023
38. Luka Snoj, Ekspertska misija IAEA, Philippine Nuclear Research Institute, Manila, Filipini, 14. 1.–28. 1. 2023
39. Luka Snoj, udeležba na NSC Meeting, OECD/NEA Headquarters, Pariz, Francija, 31. 5.–2. 6. 2023
40. Luka Snoj, udeležba na zagovoru doktorata G. Ericssona (kot somentor), University of Uppsala, Uppsala, Švedska, 7. 12. 2023
41. Luka Snoj, udeležba na: 2023 Annual International Benchmark Project Technical Review Group Meetings, OECD/NEA, Pariz, Francija, 2. 4.–8. 4. 2023
42. Luka Snoj, udeležba z vabilom na sestanek DONES Steering Committee kot imenovani član usmerjevalnega odbora, Carmen de los Martires, Grenada, Španija, 14. 3.–17. 3. 2023
43. Marjan Kromar, udeležba na letnem srečanju EURAD – SFC Annual Project Meeting, Taegi, Wettingen, Švica, 30. 10.–3. 11. 2023
44. Marjan Kromar, udeležba na srečanju NEA WPNCs, sestanki skupin SFCOMPOTRG, SG12 in SG13, NEA Data Bank, Pariz, Francija, 26. 6.–3. 7. 2023
45. Robert Jeraj, sodelovanje z Univerzo v Wisconsinu, University of Wisconsin, Madison, ZDA, 5. 8.–3. 9. 2023
46. Robert Jeraj, udeležba na mednarodni konferenci AIMF 2023 z vabljenim predavanjem, Palazzo dei Congressi, Firenze, Italija, 9. 6.–12. 6. 2023 (1 prispevek)
47. Saša Škof, udeležba na ACP sestanku v okviru konzorcija EUROfusion, ENEA Frascati, Frascati, Italija, 27. 6.–29. 6. 2023
48. Saša Škof, udeležba na EARMa letni konferenci, Prague Congress Centre, Praga, Češka republika, 24. 4.–27. 4. 2023
49. Ylenia Kogovšek Žiber, udeležba na tečaju ENEEP Autumn Reactor Physics Courses – Fundamentals of Isotope Production, ENEEP, Pavia, Italija, 5. 11.–9. 11. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Jošt Stergar: Univerza v Rijeki, Reka, Hrvaška, 3. 10. 2023 (raziskovalni obisk v okviru bilateralnega projekta HR-SLO)
2. Jošt Stergar: University Vanderbilt, Nashville, Tennessee, ZDA, 13. 1.–4. 2. 2023 (raziskovalni obisk v okviru bilateralnega projekta ZDA-SLO)
3. Robert Jeraj: University of Wisconsin, Madison, WI, 8. 1.–9. 1. 2023 (sodelovanje z Univerzo v Wisconsinu)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Klemen Ambrožič
2. dr. Dušan Čalič
3. dr. Aljaž Čufar
4. prof. dr. Tomaž Gyergyek*, znanstveni svetnik
5. prof. dr. Robert Jeraj, znanstveni svetnik
6. prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
7. dr. Bor Kos
8. doc. dr. Marjan Kromar
9. prof. dr. Igor Lengar
10. prof. dr. Matija Milanič*
11. dr. Vladimir Radulović
12. doc. dr. Urban Simončič*
13. **prof. dr. Luka Snoj, znanstveni svetnik**
14. prof. dr. Andrej Trkov, znanstveni svetnik
15. dr. Gašper Žerovnik

Podoktorski sodelavci

16. dr. Tanja Goričanec
17. dr. Jošt Stergar
18. *dr. Andrej Žohar, odšel 1. 6. 2023*

Mlajši raziskovalci

19. Domen Govekar, mag. jedr. teh.
20. Ylenia Kogovšek Žiber, mag. jedr. teh.
21. Domen Kotnik, mag. jedr. teh.
22. Jan Malec, mag. fiz.
23. Anže Mihelčič, mag. jedr. teh.
24. Julijan Peric, mag. jedr. teh.
25. Anže Pungertič, mag. jedr. teh.
26. Ingrid Švajger, mag. jedr. teh.

Strokovni sodelavci

27. Benjamin Barbarič, mag. jedr. teh.
28. Aljaž Robek, mag. inž. str.
29. Saša Škof, dipl. fin. mat. (UN)

Tehniški in administrativni sodelavci

30. Ula Groznik, dipl. upr. ved. (UN)
31. Sebastian Pleško, mag. kem.
32. *Slavko Slavič, prof. mat., upokojitev 1. 9. 2023*
33. Bojan Žefran

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aix-Marseille University, Marseille, Francija
2. Agencija za radioaktivne odpadke – ARAO, Ljubljana
3. Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA, Fusion Technical Unit, Frascati, Rim, Italija
4. Belgian Nuclear Research Centre (SCK CEN), Mol, Belgija
5. Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center, Brookhaven, New York, ZDA
6. Budapest University of Technology and Economics, Budimpešta, Madžarska
7. Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Technologicas – CIEMAT, Madrid, Španija
8. China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen, Guangdong, Kitajska
9. Commissariat a l'Energie Atomique, Francija
10. CREATE, Engineering School of Basilicata University, Campus Macchia Romana, Potenza, Italija
11. Culham Centre for Fusion Energy, Culham, Velika Britanija
12. Czech Technical University, Praga, Češka republika
13. DITO Lighting, Slovenija
14. École Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'entreprise (ENSIE), Évry, Francija
15. ENEA, Department of Fusion and Nuclear Safety Technology, Frascati, Italija
16. European Consortium for the Development of Fusion Energy, Garching, Nemčija
17. Fusion for Energy – F4E, Barcelona, Španija
18. IAEA, Nuclear Data Section, Dunaj, Avstrija
19. IDOM – Consulting, Engineering, Architecture, Bilbao, Španija
20. Institute of Plasma Physics, Praga, Češka republika
21. International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
22. JET Exploitation Unit, Abingdon, Združeno kraljestvo
23. Joint Research Centre, Geel, Belgija
24. Karlova univerza v Pragi, Češka republika
25. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
26. Lancaster University, Lancaster, Združeno kraljestvo
27. LANL – Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, ZDA
28. Massachusetts Institute of Technology – MIT, Cambridge, MA, ZDA
29. National Institutes for Quantum and Radiological Science – QST, Takasaki, Japonska
30. Nuklearna elektrarna Krško
31. North Carolina State University, Raleigh, NC, ZDA
32. Oak Ridge National Laboratory, Nuclear Data, Oak Ridge, ZDA
33. OECD – Nuclear Energy Agency, Pariz, Francija
34. Onkološki inštitut Ljubljana

35. Princeton Plasma Physics Laboratory, Princeton, ZDA
36. Rolls Royce Civil Nuclear Company, Grenoble, Francija
37. Ruder Bošković Institute (RBI), Hrvaška
38. Slovak University of Technology in Bratislava (STU), Bratislava, Slovaška
39. Swiss Plasma Center – EPFL, Lozana, Švica
40. TU Wien, Dunaj, Avstrija
41. UK Atomic Energy Authority, Culham Science Centre, Abingdon, Združeno kraljestvo
42. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Španija
43. Universidad Politécnica de Madrid
44. Universität Innsbruck, Institut für Ionen Physik und Angewandte Physik, Innsbruck, Avstrija
45. University of Bologna, Bologna, Italija
46. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
47. University of Rijeka, Rijeka, Hrvaška
48. University of Wisconsin, Madison, WI, ZDA
49. Univerza Alexandru-Ioan-Cuza, Iasi, Romunija
50. Univerza Ovidius, Constanca, Romunija
51. Univerza St. Kliment Ohridski, Fakulteta za fiziko, Sofija, Bolgarija
52. Univerza v Ljubljani
53. Univerzitetna klinika za pljučne bolezni in alergijo Golnik
54. Univerzitetni klinični center Ljubljana
55. Uppsala University, Department of Physics and Astronomy, Uppsala, Švedska
56. Virginia Tech – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, ZDA

ODSEK ZA EKSPERIMENTALNO FIZIKO OSNOVNIH DELCEV

F-9

Raziskave na odseku so usmerjene v meritve v svetu osnovnih delcev, kjer proučujemo osnovne gradnike narave in interakcije med njimi, ter v razvoj in uporabo tehnološko zahtevnih detektorjev delcev. Eksperimenti v fiziki visokih energij so narasli tako po zahtevnosti kakor po stroških, in sicer toliko, da se za njihovo izvedbo znanstveniki s celega sveta združujejo v velike kolaboracije v mednarodnih središčih za fiziko delcev. V teh središčih delujejo pospeševalniki z največjimi človeštvu dostopnimi energijami. Slovenski znanstveniki sodelujemo pri poskusih v CERN-u pri Ženevi in KEK-u v Tsukubi. Astrofizika delcev je področje, ki uporablja detekcijske metode fizike delcev za študij pojavov v vesolju. Slovenski znanstveniki sodelujemo pri meritvah kozmičnih delcev najvišjih energij z observatorijem Pierre Auger v Malargue v Argentini.



Vodja:

prof. dr. Borut Paul Kerševan

Meritve lastnosti osnovnih gradnikov narave so izvedljive na pospeševalnikih delcev z visoko energijo. Primer je Veliki hadronski pospeševalnik (LHC) v CERN-u. Pri njegovi gradnji so razen držav članic CERN-a z znatnimi finančnimi prispevki sodelovale Japonska, Kanada, Rusija in Združene države Amerike. Raziskovalci Odseka za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev izvajamo skupaj s kolegi z Oddelka za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko, Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani ter Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru svoje meritve v dveh mednarodnih središčih za fiziko delcev: Evropski organizaciji za jedrske raziskave (CERN) v Ženevi in japonskem središču KEK v Tsukubi. Naše delo poteka v okviru dveh mednarodnih skupin:

ATLAS pri Velikem hadronskem trkalniku (LHC) v CERN-u (3000 znanstvenikov, 185 institucij iz 42 držav),

BELLE II na asimetričnem trkalniku elektronov in pozitronov KEK-B v KEK, Tsukuba (1200 znanstvenikov, 130 institucij iz 27 držav).

Na področju astrofizike delcev sodelujemo v kolaboraciji Pierre Auger (500 znanstvenikov, 91 institucij iz 18 držav), ki blizu Malargue v Argentini meri z observatorijem za kozmične delce najvišjih energij s površino 3000 km². Raziskave na tem področju izvajamo skupaj s kolegi z Univerze v Novi Gorici.

Sledi podrobnejše poročilo po dejavnostih v letu 2023.

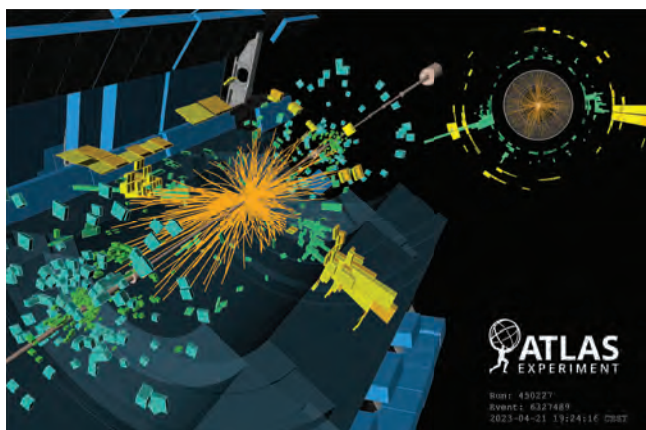
ATLAS pri Velikem hadronskem trkalniku (LHC) v CERN-u

V CERNu se je po treh letih nadgradnje Velikega hadronskega trkalnika LHC in nadgradnje detektorjev na njem v letu 2023 nadaljevalo zadnje obdobje poizkusov, imenovano Run 3, ki poteka pri rekordni težiščni energiji trkov protonov 13,6 TeV. V celotnem obdobju zajemanja podatkov v zadnjih dveh letih je eksperiment ATLAS zabeležil veliko zanimivih trkov protonov z integrirano luminoznostjo 70 fb⁻¹. V kombinaciji s prej zajetimi podatki iz obdobja Run 2 (2015–2018) ti na novo dobljeni podatki že omogočajo najnatančnejše analize iskanja procesov nove fizike onkraj standardnega modela doslej. Z uporabo najnaprednejših metod v analizi podatkov, kot je na primer uporaba grafovskih nevronske mreže v metodah strojnega učenja, so bile postavljene nove meje pri iskanju tvorbe parov Higgsovih bozonov, nadaljuje se iskanje temne snovi in možnih signalov procesov nove fizike, kot jih napovedujejo aktualne teorije, povezane z razširitvami Standardnega modela. Ob tem se izvajajo tudi natančne meritve napovedi Standardnega modela ter najnatančnejše meritve lastnosti Higgsovega bozona, ki so bile med drugim objavljene tudi v reviji *Nature Physics*. Očitno bo za nova odkritja in povečanje natančnosti meritev potrebnih še več podatkov, ki jih bo eksperiment ATLAS zjel v prihodnjih letih obdobja Run 3 – tako bodo tudi prihodnja leta polna izzivov in pričakovani prelomni dogodki. V letu 2023 je kolaboracija ATLAS objavila več kot 100 znanstvenih člankov v najuglednejših mednarodnih revijah, s čimer se je število vseh objavljenih člankov kolaboracije povečalo na 1260, v pripravi pa jih je še več kot sto.

Ljubljanska skupina pri eksperimentu ATLAS je vodilna pri načrtovanju, izgradnji in pri obratovanju več sistemov, ki skrbijo za kontrolo in spremljanje obsevanja notranjega detektorja: ATLAS Beam Condition Monitor (BCM), Beam Loss Monitor (BLM) in Radiation Monitor (RADMON). BCM je namenjen spremljanju pogojev v žarkih protonov Velikega hadronskega pospeševalnika (Large Hadron Collider, LHC) in

- Podatki, zbrani do konca leta 2023, omogočajo najnatančnejše analize iskanja procesov nove fizike onkraj Standardnega modela do zdaj. Ob tem se izvajajo tudi natančne meritve napovedi Standardnega modela in najnatančnejše meritve lastnosti Higgsovega bozona, ki so bile med drugim objavljene tudi v reviji *Nature Physics*.
- Ob natančnih meritvah napovedi Standardnega modela nadaljujemo z iskanjem temne snovi in možnih signalov procesov nove fizike, kot jih napovedujejo aktualne teorije, povezane z razširitvami Standardnega modela.

opozarjanju pred potencialno nevarnimi dogodki. Med prvim obdobjem zajemanja podatkov je bil BCM tudi glavni monitor luminoznosti spektrometra ATLAS. Po drugi strani je precej bolj preprost sistem BLM namenjen samo varovanju notranjega detektorja spektrometra ATLAS pred potencialnimi nevarnimi pogoji, kjer deluje neodvisno in vzporedno z BCM. BLM je do sedaj nekajkrat sprožil in zaustavil žarke LHC in s tem preprečil morebitne poškodbe najboljčutljivejših notranjih delov spektrometra ATLAS. Sistem RADMON meri doze, ki jih prejmejo različni deli notranjega detektorja spektrometra ATLAS. V letu 2023 smo obnovili in nadgradili elektroniko za krmiljenje in branje BCM in BLM ter programsko opremo za nadzor teh komponent. Sistema smo uspešno vključili v zajemanje podatkov eksperimenta ATLAS v letu 2023 in skrbeli za njihovo nemoteno delovanje v letu 2023.



Slika 1: Prikaz trka, zabeleženega v detektorju ATLAS 21. aprila 2023, ko je LHC v ATLAS pripeljal stabilne žarke protonov z rekordno energijo 6,8 TeV. Slika prikazuje prerez detektorja ATLAS in signale ob trku protonov. Na sliki so prikazane sledi nabitih delcev, kot so rekonstruirane v notranjem detektorju (oranžne sledi), ter izmerjena oddana energija v elektromagnetnih (zeleni polja) in hadronskih (rumena/oranžna polja) kalorimetrih.

Za nadgradnjo ITk bo do konca leta 2025 proizvedenih več kot 20.000 mikropasovnih silicijevih detektorjev, ki bodo pokrivali površino približno 165 m²!



Slika 2: Polno opremljeni del notranjega sledilnika. Senzorski moduli so povezani s fleksibilnim vezjem, ki je bil izdelan v ELGOLINE, d. o. o., iz Podskrajnika. Takšni moduli so gradniki pokrovov novega notranjega sledilnika nabitih delcev v eksperimentu ATLAS.

Skupina z odseka F9 je udeležena pri izdelavi silicijevih senzorjev na osnovi detektorjev z nizkim ojačenjem LGAD, ki bo predvidoma trajala do konca leta 2025.

Nadgradnja detektorja ATLAS

V letu 2022 je LHC začel novo obdobje zajemanja podatkov, imenovano Run 3, ki bo trajalo do konca leta 2025. Za tem bo sledila večja nadgradnja pospeševalnika LHC za visoko luminoznost (High Luminosity LHC ali HL-LHC), ki bo začel obratovati leta 2029. V obdobju 2025–2029 se bo izvedla tudi obsežna nadgradnja detektorja ATLAS. Velik del kolaboracije ATLAS vključno s skupino iz odseka F9 se intenzivno ukvarja z razvojem in izdelavo sistemov za nadgradnjo.

Notranji sledilnik ITk

V letu 2023 je kolaboracija ATLAS nadaljevala s sestavljanjem komponent za nadgradnjo notranjega detektorja (ITk), kjer bomo kot senzorje uporabili mikropasovne silicijeve detektorje. V ITk bo z mikropasovnimi detektorji pokrita površina približno 165 m². Trenutno poteka njihova izdelava in do sedaj je bilo dobavljenih približno 60 % od 22.000 silicijevih senzorjev. Izdelavo naj bi zaključili v drugi polovici leta 2025, evalvacija pa naj bi bila zaključena v letu 2026. Naša skupina sodeluje v postopku zagotovitve kakovosti senzorjev. Na Rektorskem centru v Podgorici smo z nevtroni obsevali testne strukture, izdelane na silicijevih rezinah skupaj z detektorji, predvidena so redna obsevanja vsak mesec v obdobju štirih let. V za to posebej sestavljenem merilnem sistemu smo merili odziv senzorjev s pomočjo vira ⁹⁰Sr in večkanalnega bralnega sistema ALIBAVA. Vsi senzorji kažejo pričakovano degradacijo signalov, ki se po obsevanju z $1.6 \cdot 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}} \text{ cm}^{-2}$ zmanjšajo na približno tretjino, kar ustreza okoli 7500 elektronom. V letu 2023 smo testirali približno tretjino celotne predvidene proizvodnje.

Poleg razvoja senzorjev smo se v sodelovanju s podjetjem Elgoline, d. o. o., iz Cerknice priključili razvoju posebnih večplastnih fleksibilnih tiskanih vezij, ki bodo služila povezavi senzorjev s periferno bralno elektroniko. V letu 2021 je bila narejena predserija, ki obsega 5 odstotkov končne produkcije. S serijsko izdelavo smo začeli v sredini leta 2022 in jo nadaljevali v letu 2023. Na Odseku za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev smo v sodelovanju z Univerzo v Oxfordu razvili robotski sistem, s katerim testiramo fleksibilna vezja velikih dimenzij. Do zdaj je bilo dobavljenih 70 % od končne količine 1000 takšnih vezij. To bo zadoščalo za oba sprednja dela silicijevega pasovnega detektorja. Vsako fleksibilno vezje testiramo trikrat, po različnih stopnjah proizvodnega procesa.

Visoko zrnati detektor časa

Visoko zrnati detektor časa (High Granularity Timing Detector) je del nadgradnje eksperimenta ATLAS in je vstopil v fazo izdelave. Ljubljanska skupina z odseka F9 je udeležena pri izdelavi silicijevih senzorjev na osnovi detektorjev z nizkim ojačenjem LGAD, ki bo predvidoma trajala do konca leta 2025. Pomembno smo prispevali h končni zasnovi senzorjev na področju dopiranja in vgradnje ogljika za izboljšanje sevalne odpornosti, pa tudi k zasnovi testnih struktur za nadzor kakovosti. Postavili smo dve merski postaji za nadzor kakovosti senzorjev med celotnim obdobjem proizvodnje. IJS bo glavno merilno mesto za opravljanje nadzora sevalne odpornosti

senzorjev. Vzorci bomo obsevali na reaktorju TRIGA na IJS ter jih izmerili z novo metodo na osnovi TCT (Transient Current Technique), ki smo jo zasnovali za karakterizacijo velikih količin vzorcev in umerili z drugimi standardnimi merskimi metodami. Nadaljevali smo tudi z generičnimi raziskavami in razvojem detektorjev časa, kjer smo proučevali način za izboljšanje sevalne odpornosti z delno termično aktivacijo dopantov v senzorju, prav tako pa smo proučevali časovno ločljivost različnih vzorcev v meritvah s testnim žarkom.

BCM'

Skupina z odseka F9 je prevzela vodilno vlogo pri razvoju sistema za nadzor žarka in meritve luminoznosti, imenovanega BCM', za katerega smo razvili bralni čip, odporen proti sevalnim poškodbam, ki bo povezan s senzorji iz pCVD diamantov. Leta 2023 so bile izdelane in preizkušene nove različice bralnega čipa Calypso. Funkcionalnost ter sevalna odpornost čipa in detektorjev sta bili leta 2023 preverjeni v več obsevanjih in uspešno potrjeni tudi v meritvah v testnem žarku. BCM' se nahaja blizu točke interakcije in je vpet v blaziničasti detektor za nabite delce, zato načrtovanje in izdelava komponent zahtevata natančno usklajevanje.

Sistem za merjenje sevanja

VITk bo nameščen nadgrajen sistem za sprotno merjenje integriranih doz v močno radioaktivnem okolju, ki ga v okolici interakcijske točke povzročijo trki protonov. V letu 2023 je naša skupina preizkušala delovanje prototipne bralne elektronike, razvijala programsko opremo ter načrtovala komponente, potrebne za integracijo sistema v eksperiment ATLAS.

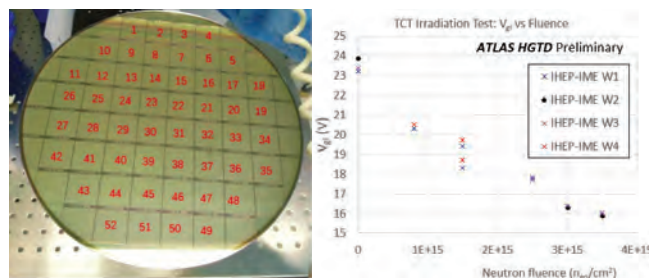
Belle in Belle II na asimetričnem trkalniku elektronov in pozitronov SuperKEKB v KEK

Sodelavci odseka so nadaljevali raziskave pri eksperimentih Belle in Belle II na trkalniku elektronov in pozitronov KEKB oziroma SuperKEKB v Tsukubi na Japonskem. Osnovna motivacija obeh eksperimentov, ki spadata v eksperimentalne napore na t. i. obzorju natančnosti, je iskanje procesov in delcev, ki niso zajeti v Standardnem modelu (SM) interakcij in jih s skupnim nazivom označujemo kot Nova fizika (NF). Procesi NF morajo biti odgovorni – med drugim – tudi za opaženo prevlado snovi nad antisnovo v vesolju. Standardni model je sicer izjemno uspešen in eksperimentalno potrjen opis procesov na ravni osnovnih delcev pri trenutno dosegljivih energijah in natančnosti, eksperimenti na obzorju natančnosti pa izvajajo izjemno natančne meritve in rezultate primerjajo s podobno natančnimi teoretičnimi napovedmi v okviru SM.

Detektor Belle je zaključil zajemanje podatkov v letu 2010, kljub temu pa še zmeraj potekajo številne analize zajetih podatkov. Med rezultati leta 2023 je več meritev matričnih elementov kvarkovske mešalne (tako imenovane Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) matrike, da bi razrešili neujemanje med vrednostmi matričnih elementov $|V_{ub}|$ in $|V_{cb}|$, izmerjenimi z inkluzivno in ekskluzivno metodo. Velik poudarek je bil tudi na iskanju anomalij pri razpadih mezona B z leptoni v končnem stanju. Izvedli smo tudi iskanja razpadov na par dveh leptonov različnih okusov (lepton tau in lahki lepton), bodisi samega ali v spremstvu mezona K.

Eksperiment Belle II je do zdaj zbral podatke, ki ustrezajo luminoznosti 428 fb^{-1} . Med pomembnimi rezultati raziskovalne skupine Belle II leta 2023 je do zdaj najnatančnejša meritev mase leptona tau (objava 5), kar je eden izmed kritičnih parametrov Standardnega modela. Tudi v letu 2023 je bil pomemben sklop raziskovalnih tem pri eksperimentu Belle II namenjen iskanju kandidatov za temno snov in možnih nosilcev interakcij med delci temne snovi in navadno snovjo. Med drugim smo iskali dokaze za stanje, ki bi razpadalo v par leptonov tau (objava 6). Rezultat meritve je med drugim tudi zgornja meja na sklopitvi takšnega hipotetičnega stanja z navadno snovjo v odvisnosti od njegove mase.

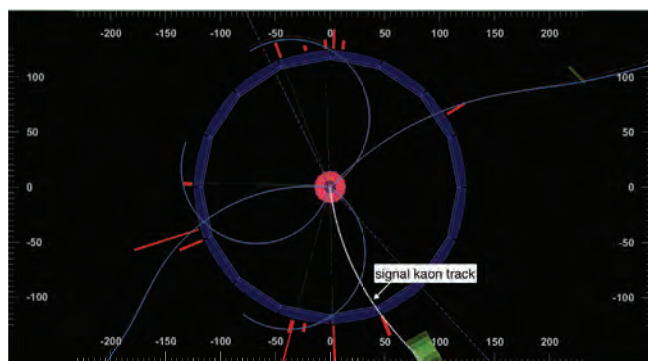
Za največ pozornosti pa je med znanstveno skupnostjo v letu 2023 nedvomno poskrbela meritev zelo redkega razpada mezona B v nabiti kaon in par nevtrinov. Ta razpadni kanal mezona B je zaradi svoje redkosti zelo občutljiv na morebitne prispevke nove fizike, tako da bi morebitno odstopanje pomenilo pravo senzacijo. Meritev je zelo zahtevna zaradi



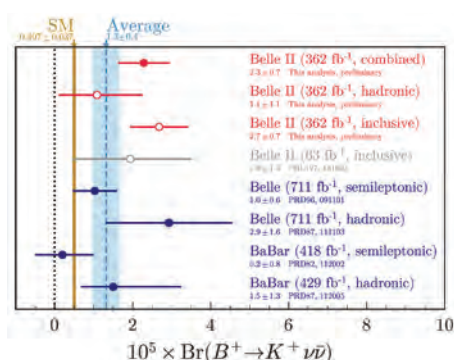
Slika 3: Levo: fotografija silicijeve rezine z 52 detektorji za HGTD. Velikost posameznega detektorja je $2 \times 2 \text{ cm}^2$ in je sestavljen iz 225 senzorjev tipa LGAD velikosti $1,3 \times 1,3 \text{ mm}^2$. HGTD bo sestavljen iz 16.064 detektorjev. Desno: odvisnost napetosti osiromašenja ojačevalne plasti v LGAD od fluence nevtronov. Takšne meritve so del preverjanja sevalne odpornosti detektorjev in jih bomo izvajali na IJS.

Naša skupina je odigrala vodilno vlogo pri razvoju sistema BCM', ki uporablja pCVD diamantne detektorje in posebej za ta namen izdelano integrirano vezje (čip) Calypso.

- Med rezultati leta 2023 je več meritev matričnih elementov kvarkovske mešalne (tako imenovane Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) matrike, da bi razrešili neujemanje med vrednostmi matričnih elementov $|V_{ub}|$ in $|V_{cb}|$, izmerjenimi z inkluzivno in ekskluzivno metodo. Velik poudarek je bil tudi na iskanju anomalij pri razpadih mezona B z leptoni v končnem stanju.
- Za največ pozornosti pa je med znanstveno skupnostjo v letu 2023 nedvomno poskrbela meritev zelo redkega razpada mezona B v nabiti kaon in par nevtrinov. Ta razpadni kanal mezona B je zaradi svoje redkosti zelo občutljiv na morebitne prispevke nove fizike, tako da bi morebitno odstopanje pomenilo pravo senzacijo.



Slika 4: Posebno redek dogodek, kot smo ga zaznali s spektrometrom Belle II, pri katerem je eden od mezonov B razpadel v nabiti kaon in dva nevtrina, drugi B pa je razpadel na enega od bistveno bolj pogostih načinov.



Slika 5: Verjetnost za razpad mezona B v nabiti kaon in dva nevtrina, kot smo jo izmerili pri naši študiji (označeno z rdečo barvo), ter primerjava s prejšnjimi meritvami in z napovedjo Standardnega modela.

redkosti procesa in zaradi tega, ker oba nevtrina zapustita detektor, ne da bi ju zaznali, kot je lepo razvidno iz dogodka, ki ustreza iskanemu procesu (slika 4). Rezultat meritve je presenetljiv. Ne samo da nam je uspelo izmeriti verjetnost za ta proces s statistično zanesljivostjo, ki presega 3 standardne deviacije, izmerjena verjetnost je precej večja, kot jo napoveduje SM (slika 5). V letu 2024 nameravamo dobljeni rezultat preveriti še na neodvisnem vzorcu podatkov, zajetih pri eksperimentu Belle, in v razpadnih kanalih mezona B, kjer namesto nabitega kaona K nastopa njegovo vzbujeno stanje K*, ki razpade v kaon in pion.

Observatorij Pierre Auger

Observatorij Pierre Auger je bil zgrajen z namenom zaznavanja visoko energijskih kozmičnih žarkov, pod katerimi razumemo subatomske delce z energijami na 10¹⁸ eV. Tovrstni delci v zemeljski atmosferi interagirajo z atomi in tako povzročijo nastanek sekundarnih delcev, ki jih imenujemo atmosferski pljusk. Če hočemo oceniti izvor, energijo in tip primarnega delca, je treba izmeriti lastnosti pljuska. Ker so tovrstni delci zelo redki (na Zemljo namreč pride zgolj en delec na kvadratni kilometer na stoletje z energijo 10²⁰ eV), je potrebna nadvse obsežna merilna naprava.

Observatorij Pierre Auger zato obsega površino 3000 km², nahaja pa se v provinci Mendoza v Argentini. Observatorij uporablja dve komplementarni tehniki zaznave atmosferskih pljuskov. Na poti skozi atmosfero sekundarni delci vzbujajo molekule dušika. Pri relaksaciji te izsevajo fluorescenčno svetlobo, ki jo zaznavamo z mrežo velikih teleskopov. Sekundarne delce, ki dosežejo Zemljo, pa zaznavamo z mrežo Čerenkovih detektorjev prek meritve svetlobe, izsevane ob prehodu relativističnega delca skozi vodo.

Kolaboracija Pierre Auger je izmerila strmo upadanje energijskega spektra delcev z energijo nad 10²⁰ eV. Dušenje fluksa pri visokih energijah razlagamo z interakcijo delcev z mikrovalovnim prasevanjem (tako imenovani GZK-učinek) ter zaradi fotonske dezintegracije. Kljub temu pa je bilo pokazano, da GZK-učinek ne more biti edina razlaga, saj podatki nakazujejo težjo masno sestavo, kot bi jo pričakovali, zato razlogi za spektralni upad ostajajo nepojasneni.

Eden izmed ciljev kolaboracije je tudi študij izvora kozmičnih delcev visokih energij. V ta namen se je kolaboracija posvečala tako ocenam korelacije vpadnih smeri z distribucijo mase v vesolju kot meritvam dipolarne anizotropije, ki so z visoko stopnjo verjetnosti pokazale, da delci visokih energij dejansko imajo preferenčno smer vpada.

Trki visokoenergijskih kozmičnih žarkov z atmosferskimi molekulami ponujajo vpogled v hadronske interakcije pri energijah, ki za nekaj velikostnih razredov presegajo težiščno energijo trkalnika LHC. Obsežni poskusi integracije LHC rezultatov v meritve observatorija so pokazali na precejšnje razhajanje, saj je število mionov, ki jih dobimo pri Monte Carlo simulaciji, temelječi na dosedanjih meritvah, precej manjše, kot jih zaznavamo, prav tako tudi globina interakcijske točke znotraj atmosfere odstopa od pričakovane za smiselno kompozicijo kozmičnih žarkov.

Kolaboracija Pierre Auger je v fazi nadgradnje, ki bo ponudila dodaten vpogled v opisane probleme. Ključni element nadgradnje je namestitev scintilacijskih detektorjev na vsakega izmed 1660 Čerenkovih detektorjev. Tako

bo identifikacija primarnih delcev olajšana, saj z uporabo scintilatorjev dosežemo lažje razločevanje med elektromagnetno in mionsko komponento pljuska. K meritvam kompozicije pa bo pripomogla tudi nova bralna elektronika Čerenkovih detektorjev. Poteka tudi nadgradnja observatorija s sistemom AERA (Auger Engineering Radio Array). AERA je mreža anten, ki merijo emisijo radijskih valov v frekvenčnem pasu med 30 in 80 MHz, ki nastanejo ob tvorbi pljuska sekundarnih delcev v atmosferi.

Nadgrajen observatorij Pierre Auger bo z uporabo hibridnih meritev vstopil v novo obdobje podatkovne analize, ki bo vključevala podatke iz dodatno instaliranih detektorjev, kar bo omogočilo oceno primarne mase na posameznem dogodku. Uporaba umetne inteligence je že nakazala svoj potencial pri kombinirani analizi podatkovnih setov iz faze 1 in faze 2, kar je najbolj opazno pri oceni masnih kazalcev ter vpadnih kotov kozmičnih delcev. Pričakuje se tudi uporaba izsledkov observatorija na področju kozmične geofizike, medtem ko bo politika odprtih podatkov pomenila povabilo širši javnosti k izrabi dela podatkov observatorija Pierre Auger.

Pri observatoriju Pierre Auger poteka gradnja AERA (Auger Engineering Radio Array). AERA je mreža anten z namensko elektroniko za obdelavo signalov, ki merijo emisijo radijskih valov v frekvenčnem pasu med 30 in 80 MHz. Ti nastanejo ob tvorbi pljuska sekundarnih delcev v atmosferi.



Slika 6: Fluorescenčni detektor observatorija Pierre Auger

Center za distribuirano računanje

V letu 2023 smo v sodelovanju s CMI podvojili kapaciteto skupne osnovne podatkovne hrambe Ceph in tako za delovanje storitev in podatke uporabnikov omogočili 9 PB prostora. Z računskim centrom SiGNET z več kot 3072 jedri smo nadaljevali s sodelovanjem v mednarodnih projektih in organizacijah WLCG, EGI, NDGF-T1. Poleg tega smo sodelovali z drugimi računskimi centri, kot je inštitutski NSC, ter centroma Arnes v Ljubljani in Trdina v Novem mestu. V okviru sodelovanja evropske iniciative EuroHPC in vključenosti v Slovensko nacionalno superračunalniško omrežje SLING smo tudi v letu 2023 sodelovali pri vzdrževanju superračunalnika Vega v mariborskem IZUMu. Kapacitete lastnega centra SiGNET se večinoma uporabljajo pri analizi podatkov in produkciji mednarodnih eksperimentov ATLAS in Belle II, pa tudi pri drugih projektih odseka. Deloma so na voljo tudi drugim sodelavcem inštituta in zunanjim sodelavcem. Nadaljevali smo tudi z delovanjem v konzorciju Leonardo ter pri vzpostavitvi in podpori uporabnikom enega od treh velikih sistemov EuroHPC na Cineci v Bologni. V sodelovanju s Cineca in INFN smo nadaljevali pri projektu pridobivanja in vključitve kvantnega računalnika v HPC. Poleg vzdrževanja in administracije odsek sodeluje pri številnih projektih za podporo in načrtovanje računske infrastrukture ter pri razvoju, distribuciji in vzpostavitvi distribuirane infrastrukture, na primer EuroHPC JU, Nordugrid, EuroCC, InterTwin, EuroHPC Containers Forum in Castiel 2.

Razvoj detektorjev

Silicijevi in diamanti detektorji

Večina dela na razvoju silicijevih detektorjev v zadnjih dveh desetletjih je bila opravljena v okviru kolaboracij ATLAS in CERN-RD50. RD50 je bila ustanovljena leta 2002 za razvoj proti sevanju odpornih polprevodniških detektorjev za trkalnike z zelo visoko luminoznostjo. Kolaboracija je zelo uspešno končala svoje poslanstvo leta 2023, saj so polprevodniški detektorji za eksperimente na HL-LHC, ki jih je RD50 razvijala, trenutno v proizvodnji. RD50 je igrala ključno vlogo pri razvoju teh senzorjev, vključno z razvojem LGAD – novega tipa detektorjev z dobro časovno ločljivostjo, ki bodo znatno izboljšali učinkovitost eksperimentov na HL-LHC in se bodo uporabljali tudi v različnih drugih aplikacijah.

Da bi nadaljevali uspešen model delovanja RD50 in ga razširili še na razvoj drugih tipov detektorjev, so bile leta 2023 v CERNu ustanovljene nove kolaboracije, namenjene raziskavam in razvoju detektorjev – tako imenovane Detector Research and Development (DRD) kolaboracije. Ena od DRD kolaboracij je DRD3, ki je usmerjena k razvoju polprevodniških detektorjev. V DRD3 je vključenih več kot 100 znanstvenih ustanov z vsega sveta, za prvega vodjo kolaboracije pa je bil izvoljen dr. G. Kramberger s F9.

Nadgradnja detektorja ATLAS za HL-LHC je osrednja aktivnost pri delu s silicijevimi detektorji. To zajema meritve pasovnih silicijevih detektorjev in razvoj LGAD za HGTD, kot je že opisano zgoraj.

Nepričakovane učinke obsevanja s protoni, pospešenih do 24 GeV, na mikropasovne detektorje za ITk smo intenzivno raziskovali v letu 2023. Učinki so zdaj večinoma razumljeni. Razumevanje delovanja detektorjev po obsevanju s protoni je zelo pomembno, saj visokoenergijski protoni prispevajo pomemben delež k sevalnim poškodbam, ki jih detektorji utrpijo med zajemanjem podatkov v eksperimentu ATLAS.



Slika 7: Nove kapacitete (4.5 PB prostora) za shranjevanje podatkov SiGNET Tier-2 računskega centra na IJS na Jamovi ulici

Kolaboracija DRD3 je usmerjena k razvoju polprevodniških detektorjev za nabite delce. V DRD3 je vključenih več kot 100 znanstvenih ustanov z vsega sveta, za prvega vodjo kolaboracije pa je bil izvoljen dr. G. Kramberger z odseka F9.

Nadaljevali smo tudi z razvojem osiromašenih detektorjev CMOS. Ta tehnologija je primerna za monolitne detektorje v okoljih z visokimi dozami sevanja in za aplikacije, pri katerih je treba zmanjšati količino materiala v detektorju. Osiromašeni CMOS zagotavlja tudi hitro zbiranje naboja, kar omogoča dobro časovno ločljivost, ki postaja vse bolj pomembna pri vseh vrstah aplikacij. V letu 2023 smo zaključili meritve časovnih lastnosti v monolitnih detektorjih RD50-MPW2 in o tem objavili članek. Delali smo tudi z novejšima različicama čipov RD50-MPW3 in MPW4 ter merili njihove lastnosti pred in po obsevanju z nevtroni.

V letu 2023 smo nadaljevali z razvojem sistema za meritve tranzientov (Transient Current Technique TCT) z uporabo dvofotonske absorpcije (Two Photon Absorption) TPA-TCT. S tem pojavom lahko v siliciju sprostimo nosilce naboja na omejenem področju v detektorju in tako izmerimo prostorsko odvisnost odziva detektorja.

Študije izpostavljenosti visokim temperaturam na delovanje visoko obsevanih LGAD so bile končane in rezultati objavljeni v letu 2023. Ugotovili smo, da gretje obsevanih senzorjev na približno 350 °C močno izboljša njihovo delovanje. Seveda pa izpostavljenost detektorskega sistema tako visoki temperaturi povzroča vrsto praktičnih težav, ki jih bo še treba rešiti, če želimo ta pojav uporabiti za izboljšanje njihove odpornosti na sevanje.

Pri razvoju diamantnih detektorjev smo se v letu 2023 ukvarjali z detektorji za sistem BCM'. Opravili smo več meritev v laboratoriju s sevanjem iz radioaktivnega izvira ⁹⁰Sr in tudi v testnem žarku. Merili smo z diamantnim senzorjem površine 1 cm × 1 cm in z debelino 500 μm. Na površino diamanta je bilo nanesenih več bralnih elektrod, ki smo jih povezali z novo verzijo bralnega čipa Calypso, ki je bil namensko izdelan za BCM'.

Fotonski detektorji

Raziskave fotonskih senzorjev za novo generacijo detektorjev obročev Čerenkova (RICH) smo nadaljevali tudi v letu 2023. Za nadgradnjo detektorja Belle II v smeri naprej in za nadgradnjo detektorja obročev Čerenkova pri spektrometru LHCb razvijamo detektor posameznih fotonov, ki bo zelo hiter, bo imel fino prostorsko granulacijo, bo občutljiv za svetlobo daljših valovnih dolžin in bo zdržal sevalno obremenitev, predvsem zaradi nevtronov. Na odseku raziskujemo karakteristike tako polprevodnih kandidatov za detektor – silicijevih fotopomnoževalk kot fotopomnoževalk z mikrokanalnimi ploščami z veliko površino LAPPD (Large Area Picosecond Photon Detector), kjer se osredotočamo na meritve krajevnega in časovnega odziva, ki sta pomembna parametra pri izbiri ustreznega senzorja za detektor obročev Čerenkova. Zaradi sevalnih poškodb silicijevih fotopomnoževalk pri sobni temperaturi ne bo mogoče uporabiti za meritve posameznih fotonov, zato smo določili temperaturo, pri kateri za različne sevalne obremenitve senzorji še delujejo.

Detektorji za uporabo v medicini

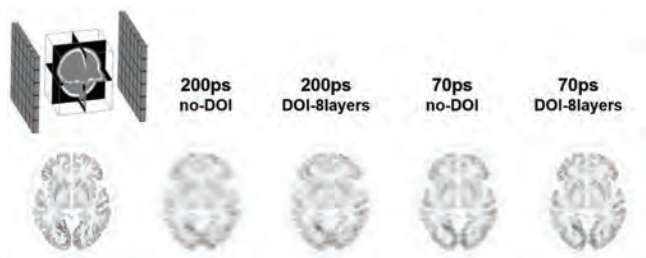
Eksperimentalna fizika osnovnih delcev vidno kroji vlogo pri razvoju najsodobnejše merilne tehnologije in detektorjev za proučevanje najosnovnejših zakonitosti narave. Inovacije, ki izhajajo iz naših laboratorijev, se uspešno prenašajo tudi na druga področja, kjer odpirajo nove poti razvoja. Medicinska fizika je zgleden primer, kjer uvajamo napredek s področja fotodetektorjev in bralne elektronike z namenom izboljšati detektorsko tehnologijo v nuklearni medicini ter pri slikovnih metodah v biomedicinski optiki.

Konceptualno smo zasnovali novo napravo za pozitronsko tomografijo (PET) s ploskimi detektorji, ki izkorišča tehnološke zmožnosti nekaj deset pikosekundnega odziva detektorja in s tem omogoča učinkovito rekonstrukcijo slike z občutno manjšo količino detekcijskega kristala, kar ima za posledico občutno nižjo ceno in večjo fleksibilnost (slika 8). Z natančnimi fizikalnimi simulacijami smo pokazali, da takšen pristop doseže kakovost slik, primerljivo s

trenutno najboljšimi komercialnimi napravami. To omogoča tudi cenovno bolj ugodno hkratno slikanje celotnega telesa brez uporabe pomične mize, kar samo slikanje tudi pohitri.

Vodimo projekt PetVision, ki ga financira razpis Evropskega sveta za inovacije Pathfinder Open, s ciljem izgradnje demonstracijske PET naprave s ploskimi detektorji. Pri projektu raziskovalci z Odseka za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev sodelujemo s partnerji iz Univerze v Barceloni, Instituta za instrumentacijo za molekularno slikanje v Valencii, Fundacije Bruno Kessler iz Trenta, Klinike Rechst der Isar Tehnične Univerze v Münchnu, Univerzo Yale iz ZDA in podjetja Oncovision iz Valencie [<https://www.petvision.org/>].

Eksperimentalno na takšni geometriji detektorja preizkuša tudi nov pristop, ki izvira iz izkušenj z uporabo svetlobe Čerenkova. Uporaba sevalcev svetlobe Čerenkova namesto običajno uporabljenih scintilacijskih kristalov omogoča naprave za PET, ki so še hitreje in cenejše. V okviru projekta CherPET, ki ga financira razpis ERC Proof of Concept evropskega raziskovalnega sveta, razvijamo prvi večji prototip takšne naprave za aplikacije PET.



Slika 8: Razvoj detektorjev za pozitronsko tomografijo s ploščatimi detektorji omogoča cenovno izboljšanje kakovosti slik, v tem primeru človeških možganov.

Vodimo projekt PetVision, ki ga financira razpis Evropskega sveta za inovacije Pathfinder Open, s ciljem izgradnje demonstracijske PET naprave s ploskimi detektorji.

Obsevanja v reaktorju TRIGA

Na Reaktorskem centru v Podgorici smo izvedli več obsevanj z nevtroni in z ionizacijskim sevanjem sredice ob ustavljeni fisiji za različne znanstvene ustanove z vsega sveta. Reaktor IJS je referenčna obsevalna naprava pri razvoju silicijevih detektorjev in elektronike za LHC in druge eksperimente v fiziki delcev.

EURO-LABS

V letu 2022 je bil odobren, septembra pa je začel delovati projekt EURO-LABS v okviru programa Horizon Europe. Proračun projekta je 14,5 milijona evrov, vanj je vključenih 33 institucij iz 18 držav. EURO-LABS financira dostop do infrastrukture za raziskave detektorjev, med katerimi so tudi obsevanja na reaktorju TRIGA. Odsek F9 skupaj z RIC koordinira to področje. V letu 2023 smo izvedli več 20 obsevanj iz tega programa za raziskovalne ustanove iz vsega sveta.

ERC-projekta

1. H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
European Commission
prof. dr. Peter Križan
2. OE - CherPET; Svetloba Čerenkova za pozitronskotomografsko slikanje celega telesa
European Commission
prof. dr. Peter Križan

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. ATLAS Collaboration, Observation of electroweak production of two jets and a Z-boson pair, *Nature Phys.*, 2023, **19**, 2, 237-253, DOI: 10.1038/s41567-022-01757-y
2. ATLAS Collaboration, Observation of the $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ Process in Pb+Pb Collisions and Constraints on the τ -Lepton Anomalous Magnetic Moment with the ATLAS Detector, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **131**, 15, 151802, DOI: 10.1103/PhysRevLett.131.151802
3. ATLAS Collaboration, Search for dark photons in rare Z boson decays with the ATLAS detector, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **131**, 25, 251801, DOI: 10.1103/PhysRevLett.131.251801
4. ATLAS Collaboration, Observation of an Excess of Dicharmonium Events in the Four-Muon Final State with the ATLAS Detector, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **131**, 15, 151902, DOI: 10.1103/PhysRevLett.131.151902
5. I. Adachi *et al.* (Belle II Collaboration), Measurement of the τ -lepton mass with the Belle II experiment, *Phys. Rev. D*, 2023, **108**, 3, 032006
6. I. Adachi *et al.* (Belle II Collaboration), Search for a $\tau^+\tau^-$ resonance in $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\tau^+\tau^-$ events with the Belle II experiment, *Phys. Rev. Lett.*, 2023, **131**, 12, 121802
7. AUGER, Search for ultra-high-energy photons from gravitational wave sources with the Pierre Auger Observatory, *Astrophysical journal*, 2023, **952**, 1, 91
8. AUGER Collaboration, Limits to gauge coupling in the dark sector set by the non-observation of instanton-induced decay of super-heavy dark matter in the Pierre Auger Observatory data, *Physical review letters*, 2023, **130**, 6, 061001
9. G. Kramberger *et al.*, Gain dependence on free carrier concentration in LGADs, *Nucl. Instr. and Meth. A*, 2023, **1046**, 167669, DOI:10.1016/j.nima.2022.167669
10. Ž. Klaneček *et al.*, Uncertainty estimation for deep learning-based pectoral muscle segmentation via Monte Carlo dropout, *Physics in Medicine & Biology*, 2023, **68**, 115007, 10 str., DOI: 10.1088/1361-6560/acd221
11. G. Razdevšek *et al.*, Exploring the potential of a Cherenkov TOF PET scanner: a simulation study, *IEEE transactions on radiation and plasma medical sciences*, 2023, **7**, 1, 52-61, DOI: 10.1109/TRPMS.2022.3202138

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. XRootD in FTS mednarodna delavnica 2023, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 27. 3.–31. 3. 2023
2. Mednarodni dogodek „ATLAS HGTD teden“, Ljubljana, Slovenija, od 11. 9. 2023 do 15. 9. 2023

Nagrade in priznanja

1. Bojan Hiti: zlati znak Jožefa Stefana, Ljubljana, Institut "Jožef Stefan", doktorsko delo, 22. 3. 2023

2. Miha Mali: nagrada za najboljši poster z naslovom Development of the BCM system for beam abort and luminosity monitoring in ATLAS based on a segmented polycrystalline CVD diamond system and dedicated front-end ASIC, 8. 9. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
European Commission
prof. dr. Peter Križan
2. ERC OE - CherPET; Svetloba Čerenkova za pozitronskotomografsko slikanje celega telesa
European Commission
prof. dr. Peter Križan
3. H2020 - JENNIFER2; Japonsko - evropska mreža za eksperimentalne raziskave na področju nevtrinov in obzorja natančnosti
European Commission
prof. dr. Rok Pestotnik
4. H2020 - AIDAinnova; Razvoj in inovacije detektorskih tehnologij za uporabo na pospeševalnikih
European Commission
dr. Gregor Kramberger
5. H2020 - HITRIplus; Integracija raziskav težko jonskih terapij
European Commission
doc. dr. Andrej Studen
6. Študij leptonskih anomalij
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Peter Križan
7. Hitri časovni detektorji za pozitronsko tomografijo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Rok Pestotnik
8. OE - interTwin; Interdisciplinarni digitalni dvojček za znanost
European Commission
prof. dr. Andrej Filipič
9. OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission
prof. dr. Marko Mikuž
10. OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
European Commission
prof. dr. Borut Paul Kerševan
11. OE - PetVision; Pozitronski tomograf naslednje generacije z meritvijo časa preleta in omejenim zornim poljem
European Commission
prof. dr. Rok Pestotnik
12. DIGITAL EU; EuroCC 2 - Nacionalni kompetenčni centri v okviru EuroHPC Faza 2
European Commission
prof. dr. Andrej Filipič
3. Nadgradnja sledilnega sistema detektorja ATLAS za delovanje na LHC z visoko luminoznostjo
prof. dr. Marko Mikuž
4. Detektorji obročev Čerenkova za naslednjo generacijo eksperimentov
prof. dr. Peter Križan
5. Razvoj sistema za protonsko CT slikanje za uporabo silicijevih detektorjev z nizkim ojačanjem
dr. Gregor Kramberger
6. Eksperimentalno preverjanje leptonske univerzalnosti in izboljšava metod identifikacije delcev pri eksperimentu Belle II
dr. Luka Šantelj
7. Silicijeve fotopomnoževalke za nadgradnjo detektorjev obročev Čerenkova
doc. dr. Rok Dolenec
8. Karakterizacija pomnoževanja in zbiranja naboja v polprevodniških detektorjih z naprednimi metodami meritev prehodnega toka
dr. Bojan Hiti
9. Kolaboracija CERN RD-39
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
10. Kolaboracija CERN RD-50
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
11. Kolaboracija DELPHI
CERN
prof. dr. Borut Paul Kerševan
12. Kolaboracija ATLAS
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
13. Kolaboracija CERN RD-42
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
14. Kolaboraciji Belle in Belle II
KEK - High Energy Accelerator Research Organization
prof. dr. Peter Križan
15. Obsevanja v jedrskem reaktorju TRIGA
prof. dr. Vladimir Cindro
16. Razvoj modula za pozitronsko tomografijo v odprti geometriji
Massachusetts General Hospital
doc. dr. Rok Dolenec
17. Monte Carlo simulacije skenerja PET
Massachusetts General Hospital
doc. dr. Rok Dolenec
18. Rekonstrukcija simuliranih podatkov načina seznama novih konfiguracij novega skeniranja PET
Massachusetts General Hospital
doc. dr. Rok Dolenec
19. BELLE II
prof. dr. Peter Križan
20. Sofinanciranje projekta OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
prof. dr. Borut Paul Kerševan

PROGRAMA

1. Večglasniška astrofizika
prof. dr. Marko Zavrtanik
2. Eksperimentalna fizika osnovnih delcev
prof. dr. Borut Paul Kerševan

PROJEKTI

1. Razvoj metod strojnega učenja za analizo podatkov na Velikem hadronskem trkalniku (LHC)
prof. dr. Borut Paul Kerševan
2. Daljinsko zaznavanje atmosfere na observatoriju Cherenkov Telescope Array in njen vpliv na opazovanje visokoenergijskih kozmičnih gama žarkov
prof. dr. Marko Zavrtanik

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Analize kakovosti izdelave fleksibilnih vezij
Elgoline, d. o. o.
dr. Andrej Gorišek

OBISKI

1. Toru Iijima, KMI, Univerza Nagoya in KEK, Nagoya, Japonska, 20. 9. 2023
2. dr. Roberto Mulargia, Univerza v Torinu, Torino, Italija, 13. 11.–27. 11. 2023
3. dr. Jiri Kroll, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 2. 11.–3. 11. 2023
4. dr. Jiri Kvasnicka, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 2. 11.–3. 11. 2023
5. Radek Jirasek, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 2. 11.–3. 11. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Toru Iijima, KMI, Univerza Nagoya in KEK, Nagoya, Japonska: Status and Prospects of SuperKEKB/Belle II ++, 20. 9. 2023
2. dr. Igor Mandić Polprevodniški detektorji za bodoče trkalnike – kolokvij IJS, 27. 9. 2023 (1)
3. Valentina Zhukova: Measurement of the cross section for inclusive Bs production in e+e- collisions at energies around 11 GeV, 9. 10. 2023
4. dr. Kehang Bai, Univerza v Oregonu, ZDA: Non-resonant Anomaly Detection with Background Extrapolation, 21. 12. 2023
5. dr. Gaetano de Marino: Search for the Lepton Flavor Violating $B^+ \rightarrow K^+ \tau (e, \mu)$ decays with the Belle and Belle II detectors, 24. 1. 2023
6. dr. Gašper Razdevšek: Image quality in Cherenkov positron emission tomography, 18. 10. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Dania Consuegra Rodriguez, R. Dolenec, Peter Križan, Samo Korpar, Andrej Seljak, Rok Pestotnik, Phose2023 – Workshop on Photodetectors and sensors for particle identification and new physics searches, SiPMs for Belle II ARICH, Ženeva, Švica, 21. 11.–24. 11. 2023 (1)
2. Jernej Debevc, Alissa Shirley-Ann Howard, Gregor Kramberger, 42nd CERN RD50Workshop, Tivat, Črna gora, 19. 6.–24. 6. 2023
3. Jernej Debevc, Jan Gavranovič, Borut Paul Kerševan, Blaž Leban, Miha Mali, DCH Workshop, Lund, Švedska, 24. 9.–27. 9. 2023
4. Gaetano DeMarino, Konferenca FPCP 2023, Lyon, Francija, 25. 5.–1. 6. 2023
5. Rok Dolenec, Gašper Razdevšek, Rok Pestotnik, Gašper Razdevšek, 2023 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Vancouver, Kanada, 4. 11.–12. 11. 2023
6. Andrej Filipčič, InterTwin Technical F2F meeting, Madrid, Španija, 23. 1.–29. 1. 2023
7. Andrej Filipčič, EuroHPC summit, Goteborg, Švedska, 20. 3.–24. 3. 2023
8. Andrej Filipčič, Dejan Lesjak, Austrian-Slovenian HPC Meeting - ASHPC23, Institut informacijskih znanosti (IZUM), Maribor, 13. 6.–15. 6. 2023
9. Andrej Filipčič, Konferenca EGI2023, Poznan, Poljska, 18. 6.–22. 6. 2023
10. Andrej Filipčič, ET-PP/ET-EIB Workshop @ Geneva: Computing and data requirements, Ženeva, Švica, 25. 10.–27. 10. 2023
11. Andrej Filipčič, Technical Interchange Meeting, Barcelona, Španija, 27. 11.–29. 11. 2023
12. Andrej Gorišek, Marko Mikuž, Sestanek/kolaboracija, Ohio State University, Columbus, Ohio, 5. 3.–8. 3. 2023
13. Andrej Gorišek, Udeležba na mednarodni konferenci, Vancouver, Kanada, 2. 12.–9. 12. 2023
14. Andrej Lozar, Particle Physics from Early Universe to Future Colliders, Portorož, 11. 4. 2023
15. Andrej Lozar, Marko Starič, 11th International Workshop on Charm Physics (CHARM 2023), Siegen, Nemčija, 17. 6.–21. 6. 2023
16. Borut Paul Kerševan, Konferenca CHEP2023, Norfolk, Virginia, 7. 5.–13. 5. 2023
17. Borut Paul Kerševan, Marko Mikuž, ATLAS Week, Vancouver, Kanada, 24. 6.–2. 7. 2023
18. Borut Paul Kerševan, COST Action CA22130 (COMETA) – 1st Management Committee (MC) Meeting, Bruselj, Belgija, 17. 9.–19. 9. 2023
19. Gregor Kramberger, DRD3 workshop, Ženeva, Švica, 21. 3.–24. 3. 2023
20. Gregor Kramberger, Konferenca RAP2023, Attica, Grčija, 29. 5.–2. 6. 2023
21. Gregor Kramberger, ATLAS HGTD: prezentacija za Status ATLAS-HGTD senzorje, Ženeva, Švica, 6. 11.–10. 11. 2023
22. Peter Križan, Samo Korpar, Andrej Seljak, DRD4 Meeting, Ženeva, Švica, 15. 5.–18. 5. 2023
23. Peter Križan, Konferenca Heavy Flavour 2023, Glasgow-Islay, Velika Britanija, 19. 6.–23. 6. 2023
24. Peter Križan, Marko Mikuž, Miha Mali, PSD 13th International Conference on Position Sensitive Detectors, Oxford, Velika Britanija, 3. 9.–7. 9. 2023
25. Samo Korpar, Rok Pestotnik, Tata Institute of Fundamental Research (TIFR), Mumbai, Indija, 11. 2.–23. 2. 2023
26. Samo Korpar, Univerza v Nagoyi: B1 Nagoya workshop, Nagoya, Japonska, 27. 3.–2. 4. 2023

27. Samo Korpar, Srečanje skupine TORCH, Warwick, Tsukuba, Japonska, 16. 10.–17. 10. 2023
28. Samo Korpar, 20. Božični simpozij fizikov Univerze v Mariboru, Maribor, 14. 12.–15. 12. 2023
29. Blaž Leban, Phenomenology 2023 Symposium, University of Pittsburgh, Pittsburgh, 6. 5.–10. 5. 2023
30. Dejan Lesjak, srečanje EuroHPC summit, Goteborg, Švedska, 20. 3.–24. 3. 2023
31. Dejan Lesjak, Konferenca ISC High Performance 2023, Hamburg, Nemčija, 21. 5.–26. 5. 2023
32. Andrej Lozar, 11th International workshop on Charm Physics, Siegen, Nemčija, 16. 7.–21. 7. 2023
33. Miha Mali, Marko Mikuž, Peter Križan, PSD13: 13th International Conference on Position Sensitive Detectors, Latest Results on the Radiation Tolerance of Diamond Detectors, Oxford, Velika Britanija, 3. 9.–8. 9. 2023
34. Miha Mali, Marko Mikuž, Peter Križan, 13th International Conference on Position Sensitive Detectors, Development of the BCM' system for beam abort and luminosity monitoring in ATLAS based on a segmented polycrystalline CVD diamond system and dedicated front-end ASIC, Oxford, Velika Britanija, 3. 9.–8. 9. 2023
35. Igor Mandić, TREDI 2023 18th Trento Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors, Trento, Italija, 28. 2.–2. 3. 2023
36. Igor Mandić, The 32nd International Workshop on Vertex Detector, Sestri Levante (GE), Italia, 16. 10.–20. 10. 2023
37. Igor Mandić, Marko Mikuž, Iskra Velkova, Last (43rd) RD50 Workshop on Radiation Hard Semiconductor Devices for Very High Luminosity Colliders, Ženeva, Švica, 28. 11.–1. 12. 2023
38. Jakob Merljak, ARC7 technical workshop 2023, Umeå, Švedska, 24. 5.–27. 5. 2023
39. Marko Mikuž, Tomaž Podobnik, predavanje slovenskim učiteljem, Ženeva, Švica, 4. 10.–6. 10. 2023
40. Marko Mikuž, sestanek RRB, Ženeva, Švica, 19. 10.–24. 10. 2023
41. Miha Muškinja, LHC Higgs Working Group, Ženeva, Švica, 13. 11.–17. 11. 2023
42. Anja Novosel, Peter, Križan, Rok Pestotnik, Luka Šantelj, 46th B2GM in Belle II physics week, VCB workshop, Tsukuba, Japonska, 22. 10.–5. 11. 2023
43. Rok Pestotnik, Andrej Seljak, 6th Workshop on LHCb upgrade II, Barcelona, Španija, 29. 3.–31. 3. 2023
44. Rok Pestotnik, Workshop PET Electronics & Technologies, Duisburg, Nemčija, 11. 9.–13. 9. 2023
45. Rok Pestotnik, Phose2023 – Workshop on Photodetectors and sensors for particle physics, Ženeva, Švica, 21. 11.–23. 11. 2023
46. Rok Pestotnik, IPPOG Collaboration Board Meeting, Ženeva, Švica, 28. 11.–1. 12. 2023
47. Ihor Prudiev, Kristof Špenko, Kolaboracijska delavnica Belle II Academy 2023, Bad Kissingen, Nemčija, 22. 5.–26. 5. 2023
48. Ihor Prudiev, Luka Šantelj, Kristof Špenko, Univerza v Nagoyi, delovni sestanek B2GM, Nagoya, Japonska, 3. 6.–13. 6. 2023
49. Gašper Razdevšek, Massachusetts General Hospital, bilateralno sodelovanje, Boston, Massachusetts, 24. 9.–6. 10. 2023
50. Andrej Seljak, INFN Cagliari and CERN: Tweep2023 konferenca, Geremeas, Sardinija, Italija
51. Andrej Studen, IAEA First Regional Workshop on Developing Human Resources for Setting Up an Ion Beam Therapy Centre, Dunaj, Avstrija, 22. 2.–28. 2. 2023
52. Luka Šantelj, kolaboracija Belle: sestanek B2GM + KEK flavor physics workshop, Tsukuba, Japonska, 8. 2.–18. 2. 2023
53. Luka Šantelj, Obergurgl University Center: Konferenca Alpine Particle Physics Symposium, Obergurgl, Avstrija, 26. 3.–31. 3. 2023
54. Luka Šantelj, Tata Institute of Fundamental Research (TIFR): Konferenca HQL2023, Mumbai, Indija, 27. 11.–3. 12. 2023
55. Valentina Zhukova, 57th Rencontres de Moriond 2023 (QCD), La Thuile, Italija, 24. 3.–2. 4. 2023
56. Valentina Zhukova, MIAPbP – Munich Institute for Astro, Particle and Biophysican Institute of the Excellence Cluster ORIGINS, The Present and Future of Heavy Flavour and Exotic Hadron Spectroscopy, Munchen, Nemčija, 7. 5.–22. 5. 2023
57. Valentina Zhukova, 20th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2023), 4. 6.–10. 6. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Karol Mateusz Adamczyk, Marko Bračko, Gaetano DeMarino, Borut Paul Kerševan, Samo Korpar, Peter Križan, Andrej Lozar, Anja Novosel, Rok Pestotnik, Ihor Prudiev, Marko Starič, Luka Šantelj, Kristof Špenko: KEK, Tsukuba, Japonska (krajši obiski – delo na kolaboraciji Belle, B2GM srečanja skozi celo leto) (*virtualno*)
2. Vladimir Cindro, Dania Consuegra Rodrigues, Jernej Debevc, Andrej Filipčič, Andrej Gorišek, Jan Gavranovič, Bojan Hiti, Alissa Shirley-Ann Howard, Borut Paul Kerševan, Samo Korpar, Gregor Kramberger, Blaž Leban, Miha Mali, Igor Mandić, Marko Mikuž, Miha Muškinja, Rok Pestotnik, Tomaž Podobnik, Gašper Razdevšek, Andrej Seljak, Iskra Velkova: CERN, Ženeva, Švica (krajši obiski – delo na kolaboracijah ATLAS, RD-42 in RD50) (*virtualno*)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Karol Mateusz Adamczyk, PhD., Poljska
2. Jyotirmoi Borah, PhD., Indija
3. doc. dr. Marko Bračko*
4. prof. dr. Vladimir Cindro, znanstveni svetnik
5. Gaetano De Marino, PhD., Francija
6. doc. dr. Rok Dolenec*
7. prof. dr. Andrej Filipič
8. prof. dr. Boštjan Golob*, znanstveni svetnik
9. dr. Andrej Gorišek
10. **prof. dr. Borut Paul Kerševan*, znanstveni svetnik**
11. prof. dr. Samo Korpar*, znanstveni svetnik
12. dr. Gregor Kramberger, znanstveni svetnik
13. prof. dr. Peter Križan*, znanstveni svetnik
14. dr. Boštjan Maček
15. doc. dr. Igor Mandić, znanstveni svetnik
16. prof. dr. Marko Mikuž*, znanstveni svetnik
17. doc. dr. Miha Muškinja
18. prof. dr. Rok Pestotnik
19. doc. dr. Tomaž Podobnik*
20. dr. Andrej Seljak
21. prof. dr. Marko Starič, znanstveni svetnik
22. doc. dr. Andrej Studen*
23. prof. dr. Marko Zavrtanik, znanstveni svetnik
24. prof. dr. Danilo Zavrtanik*, znanstveni svetnik
25. doc. dr. Dejan Žontar*

Podoktorski sodelavci

26. dr. Dania Consuegra Rodriguez
27. dr. Bojan Hiti
28. dr. Gašper Razdevšek
29. dr. Luka Šantelj

Mlajši raziskovalci

30. Jernej Debevc, mag. fiz.
31. Jan Gavranovič, mag. fiz.
32. *Alissa Shirley-Ann Howard, M.Sci., Združeno kraljestvo, odšla 1. 10. 2023*
33. Aljaž Hvala, mag. fiz.
34. *dr. Blaž Leban, odšel 1. 11. 2023*
35. Andrej Lozar, mag. med. fiz.

36. Miha Mali, mag. fiz.
37. Jakob Novak, mag. fiz.
38. Anja Novosel, mag. fiz.
39. Ihor Prudiiiev, Master, Ukrajina
40. Kristof Špenko, mag. fiz.
41. dr. Valentina Zhukova

Strokovni sodelavci

42. Miha Dagarin, dipl. fiz.
43. *Jakob Merljak, dipl. inž. rač. in inf. (UN), odšel 1. 11. 2023*
44. Brigita Novak, dipl. inž. fiz. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

45. Katja Adamič, mag. posl. ved
46. *Andreja Butina Čalič, mag. posl. ved, odšla 1. 11. 2023*
47. Jurij Eržen
48. Dejan Lesjak, dipl. posl. inf. (VS)
49. Erik Margan

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. CERN – European Organization for Nuclear Research, Ženeva, Švica
2. DESY – Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
3. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), School of Engineering, Lausanne, Švica
4. ELGO line, Proizvodno podjetje, d. o. o., Podskrajnik, Cerknica
5. FERMILAB, Chicago, ZDA
6. KEK – High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japonska
7. Kolaboracija ATLAS (174 institucij)
8. Kolaboracija Belle (62 institucij)
9. Onkološki inštitut, Ljubljana
10. Pierre Auger Observatory, Argentina (94 institucij)
11. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
12. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
13. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
14. Univerza v Nišu, Elektro fakulteta, Niš, Srbija
15. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica
16. Uprava RS za varstvo pred sevanji, Ministrstvo za zdravje, Ljubljana

ODSEK ZA ANORGANSKO KEMIJO IN TEHNOLOGIJO

K-1

Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo je ena od vodilnih skupin v svetu na področju sinteze novih anorganskih spojin, ki vsebujejo fluor. Glavna raziskovalna področja so: sinteza novih koordinacijskih spojin z različnimi ligandi, kemija žlahtnih plinov, kemija elementov glavnih skupin, sinteza hibridnih materialov in sinteza novih anorganskih materialov s posebnimi lastnostmi. Velik del dejavnosti posvečamo tehnološkim, okoljskim in procesno varnostnim vprašanjem v Sloveniji in tujini. Skupina že več kot trideset let tesno sodeluje z industrijo. Dejavnosti tudi na področju izobraževanja in promocije znanosti med dijaki in osnovnošolci ter v širši javnosti.



Vodja:

prof. dr. Gašper Tavčar

S področja raziskav novih anorganskih spojin lahko izpostavimo pripravo novih mešano-kationskih spojin $\text{XeF}_5\text{M}(\text{AF})_3$ ($\text{M} = \text{Cu}, \text{Ni}$; $\text{A} = \text{Cr}, \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ru}, \text{Rh}, \text{Re}, \text{Os}, \text{Ir}, \text{Pt}, \text{Au}, \text{As}$), $\text{XeF}_5\text{M}(\text{SbF}_6)_3$ ($\text{M} = \text{Sn}, \text{Pb}$) in $\text{XeF}_5\text{M}(\text{BF}_4)_x(\text{SbF}_6)_{3-x}$ ($x = 1, 2, 3$; $\text{M} = \text{Co}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Zn}$), ki so bili uspešni le pri pripravi $\text{XeF}_5\text{Ni}(\text{AsF}_6)_3$. V drugih primerih so bile dobljene zmesi različnih produktov, večinoma soli XeF_5AF_6 in $\text{XeF}_5\text{A}_2\text{F}_{11}$. Z rentgensko difrakcijo smo prvič določili kristalne strukture $\text{XeF}_5\text{Ni}(\text{AsF}_6)_3$, XeF_5TaF_6 , XeF_5RhF_6 , XeF_5IrF_6 , $\text{XeF}_5\text{Nb}_2\text{F}_{11}$, $\text{XeF}_5\text{Ta}_2\text{F}_{11}$ in $[\text{Ni}(\text{XeF}_2)_2](\text{IrF}_6)_2$. Poleg teh so bile ponovno določene kristalne strukture XeF_5NbF_6 , XeF_5PtF_6 , XeF_5RuF_6 , XeF_5AuF_6 in $(\text{Xe}_2\text{F}_{11})_2(\text{NiF}_6)$ z boljšo natančnostjo, kot je bilo prej poročano. Kristalna struktura XeF_5RhF_6 predstavlja nov strukturni tip v družini soli XeF_5AF_6 , ki kristalizirajo v štirih različnih strukturnih tipih. Soli $\text{XeF}_5\text{A}_2\text{F}_{11}$ ($\text{M} = \text{Nb}, \text{Ta}$) nista izotipski in obe predstavljata nov strukturni tip. Sestavljeni sta iz kationov $[\text{XeF}_5]^+$ in dimernih anionov $[\text{A}_2\text{F}_{11}]^-$.

Kemija srebra je še naprej del raziskovalnih tem na odseku. Delo s tega področja je bilo predstavljeno tudi kot spremljajoča naslovnica znanstvenega članka o raziskavah dvodimenzionalnega srebrovega(II) antiferromagneta $\text{Cu}[\text{Ag}(\text{SO}_4)_2]$ (slika 1).

Nadaljujemo z delom pri projektu ERC Starting Grant, European Research Council, *Challenging the Oxidation-State Limitations of the Periodic Table via High-Pressure Fluorine Chemistry – HiPeR-F*, 2021–2026. Projekt HiPeR-F se osredotoča na raziskave kemijskih reakcij s fluorom pod izredno visokim tlakom – od 10.000 barov do več kot 100.000 barov. V okviru dvostranskega slovensko-českega raziskovalnega projekta smo z uporabo elektronske difrakcije proučevali strukture spojine ksenona in nekatere druge izbrane reaktivne spojine, delo v okviru poljsko-slovenskega projekta pa je bilo osredotočeno na študij fluoridov prehodnih kovin pod visokimi tlaki.

Nadaljevali smo z razvojem in proučevanjem novih golih fluoridnih reagentov. Razvili smo nov, na zraku stabilen, deoksifluorirni reagent $[\text{IPrH}][\text{F}(\text{HF})_2]$. Kot fluorirni reagent se obnaša podobno kot komercialno dostopen phenofluor. Posebej pomembno je, da sinteza ne poteka pod inertnimi pogoji in ga razmeroma lahko pripravimo iz cenovno dostopnih reagentov.

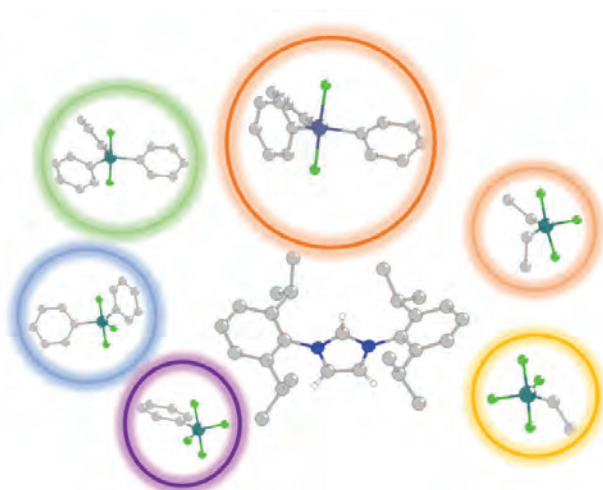
Fluorirni reagent $[\text{IPrH}][\text{F}]$ na osnovi imidazola smo sistematično proučevali z nizom reakcij z različnimi organofluorosilani in organofluorogermani, da bi sintetizirali organofluorosilikate in organofluorogermanate, ki bi jih lahko uporabili tudi kot vir nukleofilnega fluorida v organski sintezi. Uspešno smo pripravili in karakterizirali $[\text{IPrH}][\text{Ph}_3\text{SiF}_2]$, $[\text{IPrH}][\text{Ph}_2\text{SiF}_3]$, $[\text{IPrH}][\text{Et}_2\text{SiF}_3]$, $[\text{IPrH}][\text{PhSiF}_4]$ in $[\text{IPrH}][\text{EtSiF}_4]$. Spojine z alkilno substituiranimi skupinami so manj stabilne od analognih spojin s fenilnimi obroči. Poleg tega smo uspešno pripravili in karakterizirali redko organofluorogermanatno spojino $[\text{IPrH}][\text{Ph}_3\text{GeF}_2]$ (slika 2).

Razvoj in študije novih fluoridnih in polihidrogen fluoridnih nukleofilnih reagentov na osnovi pirola so vodile do izolacije stabilnih soli $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_2]$ in $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_3]$. Karakterizirali smo tudi spojino z anioni $[\text{F}(\text{HF})_4]^-$ znotraj strukture spojine s formulo $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_{3,5}]$. Najbolj zanimiva spojina v tem sistemu je $\text{MeCAACH}(\text{H})\text{F}$, ki ni ionska sol kot druge, temveč nevtralna molekula, ki zaradi nestabilnosti deluje kot vir fluorida. Proučevali smo tudi njihovo reaktivnost v organskih reakcijah in ugotovili, da je $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_2]$ ob dodatku baze najprimernejši reagent. Veliko časa in naporov smo vložili v pripravo nestabilne spojine $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})]$. Sintezo lahko zapišemo: $[\text{MeCAACH}][\text{F}] + [\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_2] \rightarrow [\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})] + [\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})_2]$. Zaradi sposobnosti tvorbe spojin z diskretnimi anioni smo $[\text{MeCAACH}][\text{F}(\text{HF})]$ v nadaljnjih raziskavah uporabili za reakcije z nekaterimi fluorokislinami ter pripravili spojine z anioni $[\text{SiF}_5]^-$, $[\text{GeF}_5]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{AsF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$ in razmeroma redkim $[\text{SnF}_5]^-$.



Slika 1: Spremljajoča celostranska ilustracija k znanstvenemu članku *A Unique Two-Dimensional Silver(II) Antiferromagnet $\text{Cu}[\text{Ag}(\text{SO}_4)_2]$ and Perspectives for Its Further Modifications* (M. Domański, Z. Mazej in W. Grochala, *Chemistry – A European Journal*, številka 62, leto 2023).

Pripravili smo na zraku stabilen deoksifluorirni reagent $[\text{IPrCl}][\text{F}(\text{HF})_2]$.



Slika 2: Pentakoordinirani organofluorosilikati in germanati z imidazolijevim kationom.

fizični ali kibernetični napadi) evropske kritične infrastrukture na ravni sistemov in povezav med njimi; analizirali smo funkcionalne soodvisnosti na mikroravni (organizacije) in makroravni (nacionalno in mednarodno). Na aplikativnem področju smo vodili preiskavo posledic in vzrokov za izredni dogodek v družbi UNIOR, d. d., Zreče z dne 26. 10. 2022.

Pridobivanje in koncentriranje kovin iz industrijskih stranskih produktov postaja vse pomembnejše.

Te vključujejo gravitacijske in magnetne metode, ki jim bodo sledili postopki pirometalurške ali hidrometalurške obdelave. V konzorciju projekta, ki ga koordinira IJS, so predstavniki industrije, raziskovalnih inštitutov in univerz iz Slovenije, Poljske, Italije in Srbije.

Poleg tega sodelujemo z MMR SARL pri proučevanju ekstrakcije in čiščenju kritičnih kovin. Izsledki te študije bodo vodili do izgradnje pilotnega obrata z zmogljivostjo 60 ton, ki bo v Demokratični republiki Kongo zgrajen po našem načrtu.

Treba je omeniti tudi dejavnosti odseka na področju izobraževanja. Sodelavci odseka so aktivno sodelovali na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana kot predavatelji ter kot mentorji magistrskim in doktorskim študentom. Ob tem Šola eksperimentalne kemije, ki deluje v okviru odseka, ohranja izredno pomembne povezave Instituta s šolami, tako z osnovnimi kot srednjimi, zanimanje pa je tudi v vrtcih. Atraktivne kemijske poskuse pa smo v letu 2023 predstavili v okviru različnih prireditev, kot so Slovenski festival znanosti, Znanstival, festival Igraj se z mano. Del teh aktivnosti poteka s sodelovanjem pri projektu, ki ga poleg IJS financira tudi Mestna občina Ljubljana. S promocijo znanosti in raziskovanja ter neformalnim izobraževanjem je povezana tudi vseevropska akcija Noč raziskovalcev v okviru programa Obzorje Evropa 2023. Konzorcij partnerjev Ustanova Hiša eksperimentov, Institut "Jožef Stefan", Kemijski inštitut, Tehniški muzej Slovenije, Geološki zavod Slovenije in Botanični vrt je v ta namen sooblikoval projekt Noč ima svojo moč. V preteklem letu smo zadnji petek v septembru v sklopu tega projekta organizirali in izvedli vrsto dejavnosti. V večernih urah smo v sodelovanju z raziskovalnimi odseki in centri odprli vrata instituta v Ljubljani in Podgorici. Obiskovalci so si ogledali nekatere odseke in centre, jedrski reaktor TRIGA ter sodelovali pri različnih delavnicah. Prav tako smo v okviru tega projekta obiskali vrsto šol z izvedbo interaktivnih delavnic. Cilj te dejavnosti je bil približati raziskovalce in znanost mladi generaciji.

Članica Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo je bila v okviru projekta H2020 CSA Athena (<https://www.athenaequality.eu/>) tudi v preteklem letu vključena predvsem v delovni sklop, ki se je nanašal na spremljanje in vrednotenje dejavnosti, potrebnih za izvajanje Načrta enakosti spolov.

ERC-projekt

1. H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
European Commission
doc. dr. Matic Lozinšek

V raziskavah na področju kompleksnih spojin bakra je treba omeniti proučevanje vpliva naboja kationa kot orodja za spreminjanje dimenzionalnosti v organsko-anorganskih hibridnih spojinah na osnovi bakrovega tiocianata.

V poparkih zelenih in črnih čajev, pakiranih v filter vrečkah oziroma v razsulu, smo analizirali koncentraciji fluorida in aluminija ter določili njuno medsebojno odvisnost. Začeli smo z raziskavami morebitne toksičnosti fluorida in aluminija na črevesne celice epitelijskega tipa. Raziskave nadaljujemo v sodelovanju z Inštitutom za mikrobiologijo in imunologijo v Ljubljani. Z vidika stabilizacijske/resonančne energije smo obravnavali reakcije dekarbonizacije acetalnih spojin, zlasti organokobaltovih spojin in amidov. Izbrane spojine, ki imajo fonetične podobnosti s polsistematičnimi ali trivialnimi imeni elementov, smo proučevali s stališča njihove sestave, strukture in kemijskih lastnosti.

Na področju upravljanja z industrijskimi tveganji smo leta 2023 raziskovali in objavili dela na različnih področjih. Nadaljevali smo delo na Horizon Europe projektu ATLANTIS, ki se ukvarja z varnostjo (nesreče in

V letu 2023 smo začeli sodelovati pri projektu EIT RIS DustRec, ki se osredotoča na pridobivanje kovin, kot so cink, železo, krom, nikelj, baker in svinec iz prahu EAF (Electric Arc Furnace), ki je stranski produkt metalurške industrije. Nekovinski ostanek bomo proučevali z vidika morebitne uporabe v gradbeništvu. Za koncentriranje kovin bomo uporabili različne tehnike.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. M. Domański, Z. Mazej, W. Grochala, A Unique Two-dimensional Silver(II) Antiferromagnet $\text{Cu}[\text{Ag}(\text{SO}_4)_2]$ and Perspectives for Its Further Modifications, *Chemistry: A European journal*, 2023, 29, 62, e202302042
2. M. Jadwiszczak, P. Leszczyński, Z. Mazej, P. Malinowski, W. R. Grochala, *et al.*, Redox-induced Diels–Alder revisited: impact of diene's oxidation on demanding cycloadditions, *Organic Chemistry Frontiers*, 2023, 10, 22, 5637–5643
3. J. Gnidovec, E. Gruden, M. Tramšek, J. Iskra, J. Kvičala, G. Tavčar, Synthesis of imidazolium-based pentacoordinated organofluorosilicate and germanate salts, *Dalton Transactions*, 2023, 52, 16, 5085–5094
4. E. Gruden, G. Prinčič, J. Hočevár, J. Iskra, J. Kvičala, G. Tavčar, From cyclic (alkyl)(amino)carbene (CAAC) precursors to fluorinating reagents: experimental and theoretical study, *Dalton Transactions*, 2023, 52, 28, 9562–9572
5. J. Jelen, G. Tavčar, Deoxyfluorination of electron-deficient phenols, *Organic letters*, 2023, 25, 20, 3649–3653

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Matic Lozinšek, član organizacijskega odbora, Slovenski kemijski dnevi 2023, Portorož, Slovenija
2. Matic Lozinšek, član organizacijskega odbora, 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting, SCCM29, Topolšica, Slovenija

Patent

1. Adam Krzysztof Budniak, Piotr J. Leszczyński, Zoran Mazej, Wojciech Rafał Grochala, Sposób oksydatywnego sprzęgania cząsteczek węglowodorów posiadających atomy węgla podstawione wodorem, PL 243170 B1, Urząd patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 10. 7. 2023

Nagrade in priznanja

1. Klemen Motaln, CCDC nagrada za najboljšo predavanje, 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting – SCCM29, junij 2023, Topolšica, Slovenija
2. Erik Uran, nagrada za najboljšo predavanje, 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting – SCCM29, junij 2023, Topolšica, Slovenija
3. Erik Uran, nagrada za poster predstavitev, Solid-State Science & Research meeting – SCIRES 2023, junij 2023, Zagreb, Hrvaška
4. Olha Sanko, nagrada za poster predstavitev, Slovenski kemijski dnevi 2023, september 2023, Portorož, Slovenija

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
European Commission
doc. dr. Matic Lozinšek
2. Čiščenje tantalovega in niobijevega hidroksida
Mining Mineral Resources S.A.R.L.
prof. dr. Gašper Tavčar
3. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
dr. Melita Tramšek
4. Silicij in fluor: Univerzalna kombinacija za nove mešane polimerizacijske enote, zaščito ozonske plasti in prenos CF_3
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Gašper Tavčar
5. Supramolekularni sklopi vinilnih monomerov kot matrice za templatno polimerizacijo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Evgeny Goreshnik
6. Reaktivnost žlahtnih plinov v ekstremnih okoljih vesolja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Kristian Radan
7. Visokotlačna strukturna študija ksenonovih spojin, ki tvorijo ogrinja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Matic Lozinšek
8. Analiza elektronske gostote in visokotlačna strukturna študija spojin polihidrogenfluoridnih anionov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Miha Virant
9. OE - NOCMOC; (Noč ima svojo moč), Evropska noč raziskovalcev
European Commission
dr. Melita Tramšek
10. OE - ATLANTIS; Izboljšana odpornost kritične infrastrukture napram velikim mednarodnim in sistemskim tveganjem
European Commission
prof. dr. Marko Gerbec
11. EIT RM; DustRec - Predelava EAF in CF prahov s ciljem „nič odpadkov“ in s krepitvijo kompetenc
EIT RawMaterials
prof. dr. Gašper Tavčar
12. OE - NgCHEM; Spojine žlahtnih plinov srečajo rentgensko analizo elektronske gostote in visokotlačne raziskave
European Commission
Valentina Milašinović, PhD., Hrvaška

PROGRAM

1. Anorganska kemija in tehnologija
prof. dr. Gašper Tavčar

PROJEKTI

1. Celostna ocena trajnostnosti kritičnih surovin - odpravljanje vrzeli in razvoj novih metodoloških pristopov
dr. Robert Kocjančič
2. Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluorido argentatih(II)
doc. dr. Matic Lozinšek
3. Napredni reagenti za (asimetrično) nukleofilno fluoriranje
prof. dr. Gašper Tavčar
4. Določevanje struktur spojin žlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
doc. dr. Matic Lozinšek
5. Visokotlačna stabilizacija in fazni prehodi zmuzljivih fluoridov prehodnih kovin
doc. dr. Matic Lozinšek

6. Uporaba sekundarnih svinčevih žlinder kot vir sekundarnih surovin za pridobivanje svinca
prof. dr. Gašper Tavčar
7. P439148; Metoda oligomerizacije nenasičenih ogljikovodikov
University of Warsaw
dr. Zoran Mazej

VEČJI NOVI POGODBENI DELI

1. L1-2608 sofinanciranje L-projekta : Uporaba sekundarnih svinčevih žlinder kot vir sekundarnih surovin za pridobivanje svinca
TH Re-MINING, d. d.
prof. dr. Gašper Tavčar
2. PR-12450 Izvedba neodvisnega revizijskega pregleda
Unior, kovaška industrija, d. d.
prof. dr. Marko Gerbec
3. Noveliranje obstoječe Ocene ogroženosti za prenosni sistem
Plinovodi, d. o. o.
prof. dr. Marko Gerbec

OBISKI

1. prof. Alexander Sidorenko; bilateralno sodelovanje in predavanje, Saint Joseph's University, Philadelphia, ZDA, 3. 3.-10. 3. 2023
2. Clara von Randow; obisk in predavanje; University of Oxford, Združeno kraljestvo, 19.-20. 9. 2023
3. dr. Krešimir Molčanov; bilateralno sodelovanje; Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 18. 12. 2023
4. Petra Stanić; bilateralno sodelovanje; Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 18.-20. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. Alexander Sidorenko; predavanje z naslovom: The journey with polymers over the surface (and the globe), 9. 3. 2023
2. Clara von Randow; predavanje z naslovom: Synthesis & Investigations of Metal-Free Electride Systems, 20. 9. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH IN STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Gašper Tavčar, udeležba na 26th Winter fluorine conference, Clearwater Beach, Florida, ZDA, 5. 1.-10. 1. 2023
2. Matic Lozinšek, Kristian Radan, meritve vzorcev in predstavitve instrumentov, Neu-Isenburg in obisk na Universität Bielefeld, Nemčija, 31. 1.-9. 1. 2023
3. Marko Gerbec, udeležba na projektne EU sestanku - ATLANTIS, Berlin, Nemčija, 28. 2.-3. 3. 2023
4. Gašper Tavčar, raziskovalni obisk in vabljeni predavanje v Centru novih tehnologij, Praga, Češka republika, 27. 4.-2. 5. 2023
5. Matic Lozinšek, Erik Uran, Miha Virant, 19th BCA/CCG Intensive Teaching School in X-Ray Structure Analysis, Durham, Velika Britanija, 27. 2.- 3. 3. 2023
6. Gašper Tavčar, Workshop v okviru projekta Dustrec, Sokobanja, Srbija, 21. 5.-24. 5. 2023
7. Erik Uran, Klemen Motaln, Olha Sanko, Valentina Milašinović, Miha Virant, Kristian Radan, Matic Lozinšek, udeležba na 29th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting, SCCM29, Topolšica, Slovenija, 14.-18. 6. 2023
8. Evelin Gruden, Jan Gnidovec, Anja Pavlović, Jan Jelen, konferenca Fluorine days 2023, Poznan, Poljska, 16. 6.-22. 6. 2023
9. Zoran Mazej, Gašper Tavčar, Evelin Gruden, udeležba na konferenci Mednarodni simpozij Fluorokemije, Quebec, Kanada, 21. 7.-30. 7. 2023

10. Gašper Tavčar, udeležba na DustRec workshopu, Sokobanja, Srbija, 21. 5.-27. 5. 2023
11. Matic Lozinšek, Valentina Milašinović, Miha Virant, Olha Sanko, Erik Uran, Klemen Motaln, Kristian Radan, Konferenca Solid State Science and Research 2023 (SCIRES 2023), 27. 6.-30. 6. 2023
12. Klemen Motaln, AIC2023 International School on Electron Crystallography, Pisa, Italija, 2. 7.-7. 7. 2023
13. Erik Uran, Valentina Milašinović, High Pressure Summer School- SUSSP 78 in The Joint 28th AIRAPT and 60th EHPRG International Conference on High Pressure Science and Technology, Edinburgh, Velika Britanija, 18. 7.-30. 7. 2023
14. Matic Lozinšek, udeležba s prispevkom na IUCr kongresu, Melbourne, Avstralija, 18. 8.- 2. 9. 2023
15. Kristian Radan, Miha Virant, udeležba na šoli fluorokemije v Berlinu, Berlin, Nemčija, 28. 8.-1. 9. 2023
16. Klemen Motaln, Olha Sanko, Valentina Milašinović, Miha Virant, Kristian Radan, Matic Lozinšek, udeležba na konferenci Slovenski kemijski dnevi 2023, Portorož, Slovenija, 13.-15. 9. 2023
17. Evgeny Goreschnik, delavnica na področju kristalografije v podjetju Rigaku, Neu-Isenburg, Nemčija, 25. 9.-27. 9. 2023
18. Matic Lozinšek, udeležba na konferenci STS forum 2023 in obisk ter predavanje na Kyoto University, 27. 9.-8. 10. 2023, Kyoto, Japonska
19. Matic Lozinšek, udeležba in plenarno predavanje na 8th Symposium of Chemistry Students, SiSK 8, Zagreb, Hrvaška, 21. 10. 2023
20. Marko Gerbec, sestanek v okviru projekta Atlantis, Atene, Grčija, 9. 10.-13. 10. 2023
21. Matic Lozinšek, plenarno predavanje na osmem Simpoziju studenata kemičara (SiSK2023) na PMF, Zagreb, Hrvaška, 21. 10. 2023
22. Gašper Tavčar, udeležba na EAF konferenci, Bergamo Italija, 28. 11.-2. 12. 2023
23. Matic Lozinšek, Kristian Radan, Izvajanje demonstracijskih eksperimentov na festivalu znanosti, Genova, Italija, 1. 11.-7. 11. 2023
24. Gašper Tavčar, Tine Oblak, delovni sestanek v Srbiji v okviru DustRec - Eit Raw materials, Beograd, Srbija, 12. 11.-19. 11. 2023
25. Matic Lozinšek, Olha Sanko, Erik Uran, delovni obisk v Varšavi v okviru projekta N1-0225, Varšava, Poljska, 11. 12.-16. 11. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Jan Jelen, raziskovalno sodelovanje na projektu: Napredni reagenti za (asimetrično) nukleofilno fluoriranje, Praga, 2. 4.-30. 4. 2023
2. Valentina Milašinović, izobraževanje in usposabljanje za določanje Charge-density, analizo podatkov o Charge-density in multipolarno kalibracijo. Milano, Italija, 8. 10.-12. 11. 2023
3. Jan Gnidovec, raziskovalno sodelovanje pri projektu: Napredni reagenti za (asimetrično) nukleofilno fluoriranje, Praga, 5. 11.-25. 11. 2023
4. Miha Virant, ARIS bilateralna BI-HR/23-24-007, Zagreb, Hrvaška, 20. 11.-25. 11. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Marko Gerbec
2. doc. dr. Evgeny Goreschnik
3. dr. Robert Kocjančič
4. doc. dr. Matic Lozinšek
5. dr. Zoran Mazej
6. Valentina Milašinović, PhD., Hrvaška
7. prof. dr. Maja Ponikvar-Svet
8. *doc. dr. Tomaž Skapin, upokojitev 3. 1. 2023*
9. **prof. dr. Gašper Tavčar, vodja odseka**
10. dr. Melita Tramšek

Podoktorski sodelavci

11. dr. Evelin Gruden
12. dr. David Levovnik
13. *Olha Panteleieva, PhD, Ukrajina, odšla 1. 10. 2023*
14. Svitlana Petrusenko, PhD, Ukrajina
15. dr. Kristian Radan
16. dr. Miha Virant

Mlajši raziskovalci

17. Jan Gnidovec, mag. kem.
18. Andrii Hultiaiev, magistr, Ukrajina
19. Jan Jelen, mag. kem.
20. Klemen Motaln, mag. inž. kem. inž.
21. Tomaž Mržljak, mag. kem.
22. Klara Ogorevc, mag. inž. kem. inž.
23. Anja Pavlovič, mag. farm.
24. Olha Sanko, Msc., Ukrajina
25. Erik Uran, Msc., Hrvaška

Strokovni sodelavci

26. Patricija Lap, mag. inž. hort.
27. mag. Tine Oblak

Tehniški in administrativni sodelavci

28. Peter Frkal, mag. ekotehnol.
29. Marko Jeran, kem. teh.
30. Robert Moravec
31. Mira Zupančič

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

Domače

1. ACRONI, Jesenice
2. Istrabenz Plini, d. o. o., Koper
3. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana
4. Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti
5. Ministrstvo za okolje in prostor
6. RACI, Ljubljana
7. Fit Media Celje
8. Intercal Slovenija, d. o. o., Zagorje ob Savi
9. TH Remining, Ljubljana
10. Slovenska znanstvena fundacija, Ljubljana
11. Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana
12. Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta
13. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
14. Kemijski inštitut, Ljubljana
15. Univerza v Novi Gorici
16. Ustanova Hiša eksperimentov, Ljubljana
17. Zavod za gradbeništvo, Ljubljana

Tuje

1. University of Chemistry and Technology, Praga, Češka
2. MMR Mining, Hyderabad, Indija
3. Universität Innsbruck, Center of Chemistry and Biomedicine (CCB) Institute for General, Inorganic and Theoretical Chemistry Innsbruck, Avstrija
4. Institute of Non-Ferrous Metals, Gliwice, Poljska
5. Institute for technology of nuclear and other mineral raw materials, Beograd, Srbija
6. University of Belgrade - Faculty of Mining & Geology, Beograd, Srbija
7. Politecnico di Milano, Milano, Italija
8. University of Maryland, Baltimore, ZDA
9. University of Warsaw, Poljska
10. Ivan Franko University, Lviv, Ukrajina
11. Weissmann Francija, Faulquemont, Francija
12. University of Namur
13. Florida State University
14. The University of Edinburgh, Edinburg, Združeno kraljestvo
15. Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), Bellaterra, Katalonija, Španija
16. Luke - Natural Resources Institute Finland
17. Associazione Festival della Scienza, Italija
18. Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Poljska
19. Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, Češka
20. University of Texas at El Paso, ZDA
21. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška

ODSEK ZA FIZIKALNO IN ORGANSKO KEMIJO

K-3

Na odseku se ukvarjamo z raziskavami fizikalno-kemijskih procesov na površinah trdih snovi, kot sta korozija in heterogena kataliza, ter s sintezo novih spojin. Sinergijo teh raziskav smo ustvarili na področju protikorozijske zaščite in funkcionalizacije materialov z uvedbo integrativnega pristopa, ki obsega eksperimente in molekulsko modeliranje na osnovi prvih principov z uporabo teorije gostotnega funkcionala (angl. density-functional theory, DFT).

Korozija je zelo razširjen pojav z velikim gospodarskim in okoljskim vplivom. Škoda, ki jo povzroča po svetu, je ocenjena na 2,5 bilijona evrov na leto, zato je zaščita površin kovin in zlitin nujna. Zaščita pred korozijo, katere glavni cilj je podaljšati življenjsko dobo kovinskih materialov, je ena od pomembnih metodologij za zmanjšanje potrebe po strmem povečevanju proizvodnje in s tem ohranitev virov za naslednja stoletja. Zaščita pred korozijo igra ključno vlogo pri trajnostnem razvoju, saj povečuje dolgotrajnost in vzdržljivost infrastrukture ter zmanjšuje potrebo po pogostih popravilih ali zamenjavah. To prispeva k ohranjanju virov, zmanjša količino odpadkov in zmanjša vpliv na okolje, povezan s proizvodnjo in odlaganjem materialov (slika 1). Družbe imajo koristi od gospodarske, okoljske in družbene trajnosti z vlaganjem v napredne tehnologije in prakse zaščite pred korozijo. Znanstvene in tehnološke inovacije pri razvoju novih trajnostnih materialov z izboljšanimi funkcionalnimi sposobnostmi so v tem okviru ključne. Izzivi za korozijsko znanost, inženirstvo in tehnološko skupnost pri razvoju bolj trajnostne družbe so razdelani v perspektivnem prispevku, ki sta ga objavila I. Milošev in J. R. Scully v reviji *Corrosion Journal*.

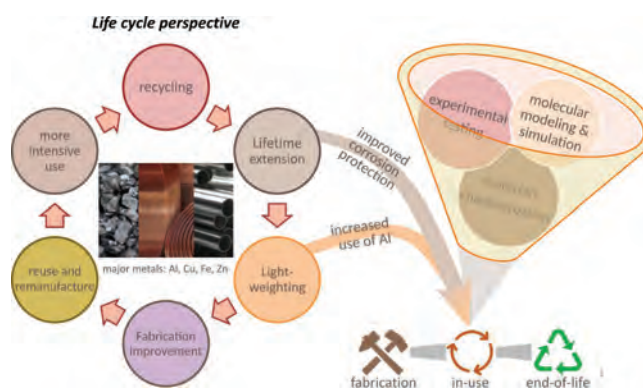
Obstaja pet osnovnih metod za nadzor korozije: izbira materiala, premazi, inhibitorji, katodna zaščita in načrtovanje. Tradicionalnih načinov zaščite pred korozijo, kot so konverzijske kromatne prevleke, zaradi ekoloških omejitev ni več mogoče uporabljati. Potrebe industrije, zlasti v transportu, gradbeništvu, strojništvu in elektroniki, postavljajo zahteve po razvoju učinkovitih, trajnostnih in okolju prijaznih protikorozijskih zaščit, ki imajo hkrati dodatne funkcionalne lastnosti. Naše raziskovalno delo na področju zaščite pred korozijo je osredotočeno na vse glavne površinske obdelave, kot so uporaba zaviralcev korozije, konverzijske prevleke, alternativne kromatne prevleke, ter organske in anorganske prevleke. Pomembna je predvsem zaščita glavnih skupin kovin in zlitin, saj je njihova uporaba danes nepogrešljiva. Te vključujejo lahke kovine (Al) ter energetsko učinkovite (Cu) in infrastrukturne (Fe in Zn) kovine (slika 1). Aluminijeve zlitine in sodobna visoko trdna jekla se uporabljajo v različnih aplikacijah, zlasti v transportni industriji, kjer je velika potreba po zmanjšanju teže vozil, saj to pripomore k zmanjšanju sproščanja emisij v okolje. Jekla in zlitine na osnovi bakra so nepogrešljivi materiali na področju infrastrukture, gradbeništvu in drugih industrij. V raziskavah posegamo tudi po kombinacijah različnih strategij, na primer sol-gel prevleke brez in z dodatkom zaviralcev korozije, s čimer poleg zaporne zaščite dosežemo tudi aktivno zaščito prevleke na poškodovanih mestih (prevleke z možnostjo t. i. samoceljenja). Raziskujemo tudi sodobne metodologije protikorozijske zaščite, kot je nanos atomskih plasti (angl. atomic layer deposition, ALD).

Velik preboj v razumevanju mehanizma zaviranja korozije z organskimi molekulami smo dosegli tudi z uvedbo integrativnega eksperimentalno-modelirnega pristopa s kombinacijo eksperimentalnih tehnik elektrokemijske in površinske analize ter modeliranjem in simulacijo na podlagi prvih principov z uporabo teorije gostotnega funkcionala (slika 1). Rezultat takšnega pristopa je bolj racionalna in ekološko usmerjena uporaba kemikalij, kar je v skladu z direktivami Evropske unije o trajnostnem razvoju in krožnem gospodarstvu.



Vodja:

prof. dr. Ingrid Milošev



Slika 1: Življenjski cikel kovin v trajnostnem gospodarstvu in naš celovit pristop k zaščiti pred korozijo.

Prof. dr. I. Milošev, prof. dr. Dawai Zhang (Univerza za znanost in tehnologijo v Pekingu, Kitajska) in prof. dr. Mikhail Zheludkevich (Helmholtz-Zentrum Hereon, Nemčija) so bili gostujoči uredniki zbirke Intelligent Corrosion Control, objavljene v reviji npj Materials Degradation. Namen zbirke je bil poročati o pomembnem napredku na področju inteligentnega nadzora korozije, vključno s pametnimi prevlekami/površinami s samoceljenjem, zaznavanjem korozije ali drugimi funkcionalnimi lastnostmi, naprednim računalniškim modeliranjem za načrtovanje/vrednotenje zaščitnih prevlek/površin, visokozmogljivi/avtomatizirani eksperimenti za vrednotenje korozije in načrtovanje materialov, ter zbirkah podatkov o koroziji in strojnem učenju za odkrivanje, diagnozo in napovedovanje korozije.

Poleg kovin, ki so pomembne za inženirske aplikacije, raziskujemo tudi kovine/zlitine za biomedicinske aplikacije, to je ortopedske in dentalne vsadke. Tukaj gre predvsem za titanove zlitine, ki se pridobivajo s klasičnimi metalurškimi postopki in z aditivno tehnologijo. V letu 2022 smo s tega področja pridobili tudi raziskovalni projekt, ki ga financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost ter je namenjen razvoju protibakterijskih titanovih zlitin.

1. Integrativni pristop študije zaviralcev korozije

Pri načrtovanju učinkovite zaščite pred korozijo je potrebno poglobljeno temeljno znanje o površinskih procesih, saj je razumevanje mehanizma zaviranja korozije na atomski ravni še vedno zelo pomanjkljivo. Da bi to presegli, smo uvedli sinergijski iterativni pristop, ki je sestavljen iz naslednjih treh raziskovalnih smeri: (1) anorganska in organska sinteza, (2) tehnike elektrokemijske in površinske analize ter (3) modeliranje in simulacije na podlagi metode DFT.

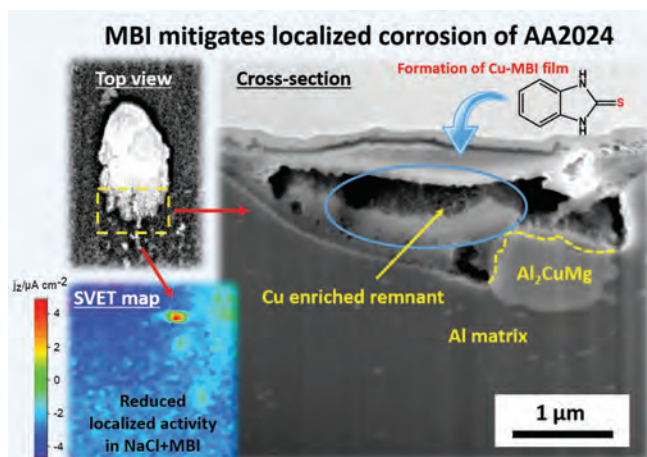
1.1. Eksperimentalne študije sodobnih zaviralcev korozije

Aluminijeva zlitina (AA) 2024 se pogosto uporablja kot strukturni material v avtomobilski, vesoljski in gradbeni industriji zaradi zelo visokega razmerja med trdnostjo in težo. Pogosto pa je AA2024 izpostavljena korozivnim pogojem in jo je treba zaščititi. Ena izmed možnosti je uporaba zaviralcev korozije (korozijskih inhibitorjev). Pri študiju korozije in inhibicije korozije je ključnega pomena razumevanje mehanizmov korozijskih procesov oziroma procesa inhibicije. Zlitina 2024 vsebuje intermetalne delce (IMP), ki vsebujejo baker. Zaradi njihovega katodnega značaja v primerjavi z okoliškim Al matriksom predstavljajo IMP šibke točke za začetek korozije zlitine. Zato je obravnavanje in nadzorovanje lokalnega elektrokemijskega odziva (tj. natančno merjenje potencialov in tokov) na teh mestih še posebej zahtevno. Lokalne galvanske procese, ki potekajo med matriksom zlitine in IMP-ji, smo simulirali z modelom galvanskega para Al/Cu. In situ smo spremljali tvorbo in razgradnjo plasti inhibitorja korozije merkaptobenzimidazola (MBI) in oktilfosfonske kisline (OPA) na Al/Cu z vrstično elektrokemijsko mikroskopijo

(SECM). Pri rasti korozijskih poškodb na aluminiju smo opazili razvijanje vodika, medtem ko je bil na bakru zabeležen odziv redukcije kisika pri korozijskem potencialu v prisotnosti agresivnega elektrolita, kot je 0,5 M NaCl. Poleg tega je bila kot dopolnilna metoda k poskusom, izvedenim s SECM, uporabljena tehnika vrstične vibracijske elektrode (SVET). Rezultati so pokazali, da na površini obstajajo mesta, kjer potekajo redoks reakcije. Na mestih na površini aluminija, kjer se razvija vodik, se aktivnost reakcije redukcije kisika (ORR) ne pojavi, ampak je ta opažena le v neposredni bližini anodnih mest.

Nazadnje, izredna odpornost proti koroziji, ki jo izkazuje galvanski par Al/Cu v raztopini kloridnih raztopin, ki ji je dodan inhibitor 2-merkaptobenzimidazol (MBI), je posledica tvorbe zaščitne plasti Cu-MBI, ki učinkovito blokira katodna mesta. Še pomembneje, MBI izkazuje odlično zaščito pred lokalno korozijo tudi v kloridni raztopini, ki ne vsebuje rezervoarja MBI. Po drugi strani oktilfosfonska kislina (OPA) ne zagotavlja zadostnih bariernih lastnosti pred prodiranjem agresivnih ionov, kot je klorid, saj smo na različnih lokacijah na površini Al zaznali visoke faradajske tokove, ki so povezani z začetkom procesa jamičaste korozije. Energijsko disperzijska rentgenska spektroskopija (EDS) prečnega prereza je pokazala, da MBI ne prepreči v celoti raztapljanja Al in Mg, ampak zmanjša stopnjo raztapljanja in stopnjo redukcije kisika s tvorbo netopnega filma Cu-MBI na delno nelegiranih delcih na osnovi Al-Cu, tj. na poroznih ostankih bakra (slika 2). Na podlagi tega rezultata sklepamo, da ima MBI potencial za uporabo kot zaviralec korozije aluminijevih zlitin na osnovi Cu, medtem ko je OPA, čeprav deluje zaviralno na Al matriks, aktivator korozije mest, bogatih s Cu, kar vodi do stopnjevanja lokalne korozije. Ta študija tudi razkriva, da prenos mehanizma inhibicije čistih kovin (Cu in Al) na zlitino (AA2024) ni enoznačen in preprost ter zahteva nadaljnje prilagoditve zaradi spremembe okolja v zlitini glede na čiste kovine.

V letu 2023 sta bila na odseku zaključeni dve doktorski nalogi, ki sta ju opravila Matjaž Dlouhy in Damir Hamulić pod mentorstvom prof. dr. Antona Kokalja oziroma prof. dr. Ingrid Milošev.



Slika 2: (zgoraj levo) Slika z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) površine aluminijeve zlitine 2024, potopljene za 24 ur v 0,5 M NaCl, ki vsebuje 1 mM 2-merkaptobenzimidazola. Območje, označeno z rumenim pravokotnikom, je bilo analizirano v prečnem prerezu z usmerjenim ionskim žarkom (FIB) (desno). Selektivno raztapljanje intermetalnih delcev Al₂CuMg vodi do obogatitve z bakrom. Tvorba filma Cu-MBI na ostankih, bogatih z bakrom, zmanjša nadaljnje selektivno raztapljanje legure in zmanjša korozijsko hitrost, kar potrjujejo rezultati analize SVET.

1.2. Modelne študije zaviranja korozije

Razširili smo našo študijo o mehanizmu, s katerim organske plasti na aluminiju zavirajo prodiranje kloridnih ionov, za katere je znano, da sprožijo jamičasto korozijo. V enem od naših prejšnjih del smo eksperimentalno ugotovili, da *n*-alkil karboksilne kisline z dolgimi verigami tvorijo zaščitne plasti pred kloridno korozijo na Al substratih. V

nadaljnem delu smo z uporabo implicitnega modela organske plasti in kovinskega substrata identificirali dva bistvena učinka, s katerima organski sloji ovirajo prodiranje kloridnih ionov proti kovinskemu substratu. Prvi učinek je posledica slabše solvatacije ionov v organski plasti v primerjavi s tisto v vodnem topilu. Drugi učinek je posledica električnega polja na elektrokemični fazni meji in obseg, do katerega vpliva na prodor ionov, je odvisen od potenciala elektrode in debeline organske plasti. Spodbujeni s tema študijama smo nadaljevali z raziskavo in eksplicitno modelirali organski monosloj in substrat Al z uporabo izračunov na podlagi teorije gostotnega funkcionala (angl. DFT) ter potrdili ugotovitve poenostavljenih implicitnih modelov, tj. energijska pregrada za penetracijo ionov se poveča z debelino organskega monosloja in s koncentracijo kloridnih ionov v monosloju. Poleg tega smo predlagali nov mehanizem, s katerim Cl^- prodre v organski monosloj. Zaradi občutno slabše solvatacije klorida v organski plasti v primerjavi s tisto v vodi je energetsko lažje lokalno odpreti organsko monoplast z dovolj veliko luknjo, da sprejme več molekul vode in kloridni anion. Prisotnost molekul vode zagotavlja močnejšo solvatacijo Cl^- (slika 3a) in boljše elektrostatično senčenje med anioni. Izračuni nakazujejo, da je energetska pregrada za penetracijo kloridnih anionov prek lokalnega mehanizma odprtja manjša kot za prodiranje anionov v gosto homogeno organsko monoplast, a še vedno dovolj visoka, da predstavlja precejšnjo kinetično pregrado pri sobni temperaturi (slika 3b).

1.3 Teoretične študije zaviranja korozije

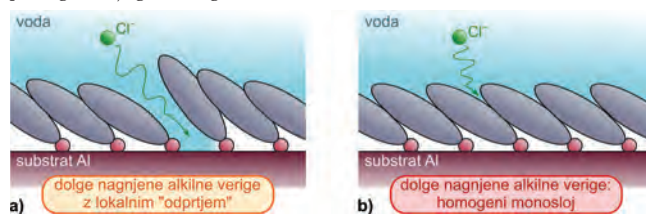
Poleg modeliranja smo osvetlili tudi dva koncepta, ki se pogosto uporabljata v študijah zaviranja korozije: sinergija in adsorpcijske izoterme. Kljub njihovi pogosti uporabi teoretični temelji, na katerih temeljita, niso vedno dobro razumljeni.

Sinergija se pogosto kvantificira s sinergijskim parametrom. Ta parameter je bil v literaturi do nedavnega uporabljen samo za mešanice binarnih inhibitorjev korozije. V ustrezni enačbi je učinkovitost inhibicije binarne zmesi ovrednotena glede na mejno učinkovitost inhibicije, ki temelji na učinkovitosti čistih spojin (slika 4a). V ta namen se skoraj vedno uporablja mejni prag Aramaki-Hackerman. V sklopu naše študije smo pokazali, da ta izbira mejnega praga ni edinstvena. Predlagali smo več drugih razumnih mejnih vrednosti in razširili ustrezne sinergijske modele na večkomponentne mešanice.

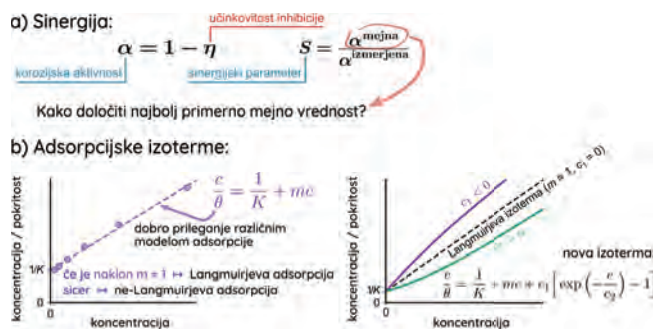
V študijah inhibicije korozije je standardna adsorpcijska Gibbsova energija pogosto ocenjena z linearno regresijo Langmuirjeve adsorpcijske izoterme v obliki $c/\theta = 1/K + c$ (c = koncentracija inhibitorja, θ = relativna pokritost površine in K = adsorpcijska ravnovesna konstanta). Vendar sta pri tej linearni regresiji skoraj vedno ocenjena tako presečišče kot naklon, čeprav Langmuirjeva izoterma zahteva naklon 1. To pomeni, da se namesto Langmuirjeve enačbe uporabi enačba $c/\theta = 1/K + mc$, kjer je m naklon (slika 4b). Ker v literaturi ni bilo teoretične osnove za to enačbo, smo to zagotovili. Predlagali smo tudi novo adsorpcijsko izotermo prvega tipa za splošne namene (slika 4b), ki temelji na upoštevanju funkcionalne odvisnosti $c/\theta = f(c)$ različnih adsorpcijskih modelov. Nova izoterma je dovolj prilagodljiva, da opiše različne adsorpcijske scenarije in zagotovi relativno natančno oceno standardne adsorpcijske Gibbsove energije, pod pogojem, da so površinske pokritosti zanesljivo eksperimentalno določene. Med različnimi modeli adsorpcije, ki jih lahko opiše nova izoterma, so tisti, ki upoštevajo interakcije med adsorbati, velikost molekule, površinsko heterogenost in mobilno adsorpcijo.

2. Protikorozijske hibridne sol-gel prevleke

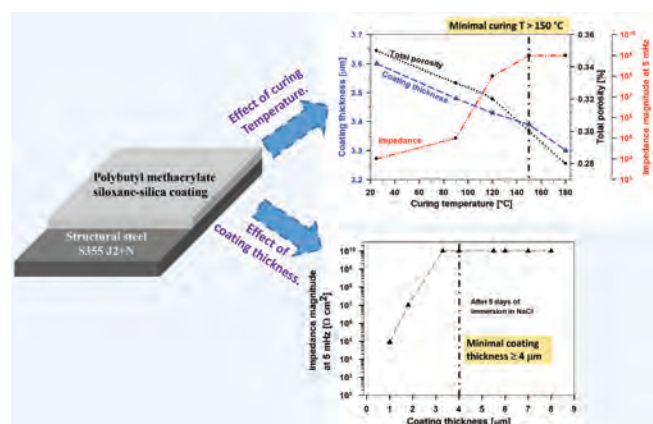
Sinteza po sol-gel postopku je vsestranska metoda, ki se uporablja za pripravo najrazličnejših materialov in se vse pogosteje uporablja kot metoda za modifikacijo površin, za spreminjanje poroznosti, omočljivosti, katalitične aktivnosti, biokompatibilnosti in protikorozijske zaščite kovin. Sol-gel prevleke ostajajo eno izmed pomembnih področij našega raziskovalnega dela.



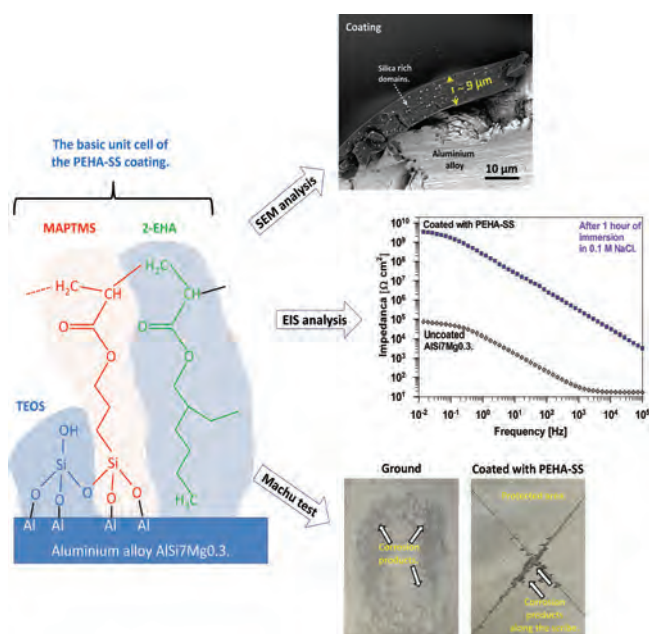
Slika 3: Dva potencialna mehanizma prodiranja Cl^- v organski samourejeni monosloj: (a) mehanizem lokalnega odprtja, kjer se v monosloju ustvari dovolj velika luknja, da sprejme več molekule vode, in anion Cl^- s svojo hidratacijsko lupino ter (b) prodiranje Cl^- v homogeni monosloj. Po izračunih DFT je bolj verjeten mehanizem lokalnega odprtja.



Slika 4: a) Enačba za sinergijski parameter je mogoče zlahka razširiti na večkomponentne mešanice, če namesto korozijske učinkovitosti inhibicije uporabimo korozijsko aktivnost. b) Na podlagi analize funkcionalne odvisnosti $c/\theta = f(c)$ različnih adsorpcijskih modelov (spodaj levo) smo predlagali novo adsorpcijsko izotermo prvega tipa za splošno uporabo (spodaj desno).



Slika 5: (levo) Shematski prikaz hibridne sol-gel polibutylmetakrilat silanske prevleke, ki je nanosena na strukturno jeklo (desno zgoraj). Odvisnost debeline in poroznosti prevleke ter velikosti impedance pri 10 mHz v raztopini NaCl od temperature sušenja (desno spodaj). Odvisnost velikosti impedance pri 10 mHz od temperature sušenja po petih dneh potopitve v raztopino NaCl.



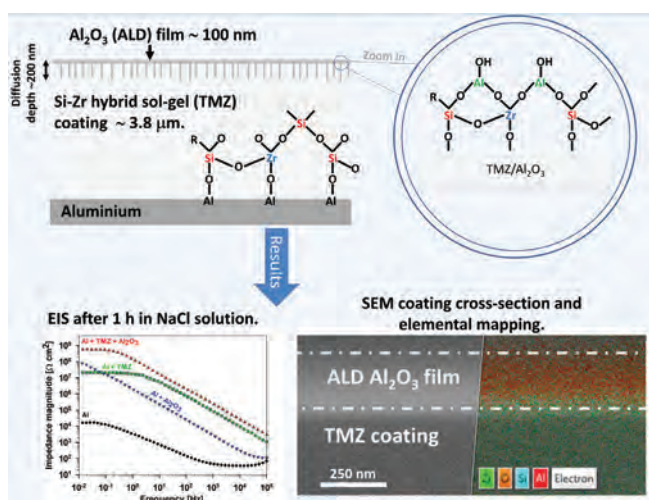
Slika 6: (levo) Shematski prikaz hibridne sol-gel poliakril/siloksansilika (PEHA-SS) prevleke, ki je nanesena na aluminijevo zlitino AlSi7Mg0,3 (desno zgoraj). Posnetek prereza prevleke z vrstičnim elektronskim mikroskopom (desno sredina). Bodejevi elektrokemijski impedančni diagrami za neprekrīt vzorec zlitine AlSi7Mg0,3 in vzorec, ki je prekrīt s prevleko PEHA-SS, po 1 uri potopitve v 0,1 M raztopino NaCl (desno spodaj). Posnetka površine vzorca po Machu testu.

spektroskopijo v realnem času. Visoka stopnja hidrolize in kondenzacijskih reakcij nastale hibridne sol-gel mreže zagotavlja gosto in enakomerno prevleko, debelo ~9 µm. Prevleka, nanesena na površino AlSi7Mg0,3, je bila karakterizirana z različnimi tehnikami, vključno z infrardečo spektroskopijo, 3D kontaktno profilometrijo in SEM/EDS. Slednja je potrdila, da so v prevleki naključno razporejena nekatera območja, bogata s silicijevim dioksidom. Korozijska odpornost zlitine, ki je prevlečena s prevleko PEHA-SS, je bila ocenjena s tehniko EIS v raztopini natrijevega klorida. Devet mikrometrov debela prevleka PEHA-SS je dosegla trajno korozijsko (bariarno) zaščito zlitine AlSi7Mg0,3 v 0,1 M NaCl v prvih štirih mesecih potopitve in v pogojih pospešene korozije v Machu komori, ki vsebuje NaCl, očetno kislino in vodikov peroksid pri 37 °C. Rezultati zagotavljajo trdno podlago za nadaljnje študije, ki uporabljajo bodisi posamezno prevleko PEHA-SS bodisi ga kombinirajo z drugimi korozijskimi zaščitnimi sistemi, da bi dosegli še trajnejšo korozijsko zaščito litih aluminijevih zlitin.

Hibridni sol-gel polibutylmetakrilat PBMA-siloksan je bil optimiziran glede na temperaturo sušenja in minimalno debelino, ki še zagotavlja optimalno zaščito pred korozijo (slika 5). Optimizacija je bila izvedena v smeri nižje temperature sušenja v primerjavi s trenutno znanimi literaturnimi podatki. Izkazalo se je, da nižja temperatura sušenja upočasni proces polimerizacije (nastajanje siloksanskih vezi) in posledično proces polimerizacije. Hkrati se pri nižjih temperaturah prevleka manj krči, kar povzroča večjo skupno poroznost. Vse te lastnosti posledično vplivajo na korozijske lastnosti, saj prevleke, sušene pri nižji temperaturi, kažejo slabšo korozijsko zaščito. Glede na rezultate termične analize z diferencialno vrstično kalorimetrijo in analize korozijskih lastnosti z elektrokemijsko impedančno spektroskopijo (EIS) in korozijsko komoro je 150 °C optimalna temperatura sušenja PBMA-siloksanske prevleke. Analiza infrardečih spektrov je prav tako potrdila, da se kemijske spremembe prevleke zaradi kopolimerizacije in polikondenzacije večinoma končajo po sušenju pri 150 °C. Poleg učinka sušenja je optimalna debelina prevleke, ki še vedno zagotavlja trajno zaščito več tednov, 4 µm. Debelino prevleke je mogoče nadzorovati z različnimi hitrostmi izvleka pri depoziciji prevleke. Prevleka PBMA-siloksan predstavlja obetaven način protikorozijske zaščite konstrukcijskega jekla za aplikacije, kjer je potrebna le nekaj mikrometrov debela prevleka.

V drugi študiji smo predstavili novo protikorozijsko zaščitno prevleko na osnovi poliakril/siloksan-silike (PEHA-SS), nanesene na lito aluminijevo zlitino AlSi7Mg0,3 (slika 6). Sinteza PEHA-SS vključuje organski monomer 2-etilheksil akrilat (2-EHA) in organsko modificiran silan 3-(trimetoksilil) propil metakrilat (MAPTMS) in anorganski silan, tetraetil ortosilikat (TEOS). Korake med postopkom sinteze smo spremljali z infrardečo spektroskopijo v realnem času. Visoka stopnja hidrolize in kondenzacijskih reakcij nastale hibridne sol-gel mreže zagotavlja gosto in enakomerno prevleko, debelo ~9 µm. Prevleka, nanesena na površino AlSi7Mg0,3, je bila karakterizirana z različnimi tehnikami, vključno z infrardečo spektroskopijo, 3D kontaktno profilometrijo in SEM/EDS. Slednja je potrdila, da so v prevleki naključno razporejena nekatera območja, bogata s silicijevim dioksidom. Korozijska odpornost zlitine, ki je prevlečena s prevleko PEHA-SS, je bila ocenjena s tehniko EIS v raztopini natrijevega klorida. Devet mikrometrov debela prevleka PEHA-SS je dosegla trajno korozijsko (bariarno) zaščito zlitine AlSi7Mg0,3 v 0,1 M NaCl v prvih štirih mesecih potopitve in v pogojih pospešene korozije v Machu komori, ki vsebuje NaCl, očetno kislino in vodikov peroksid pri 37 °C. Rezultati zagotavljajo trdno podlago za nadaljnje študije, ki uporabljajo bodisi posamezno prevleko PEHA-SS bodisi ga kombinirajo z drugimi korozijskimi zaščitnimi sistemi, da bi dosegli še trajnejšo korozijsko zaščito litih aluminijevih zlitin.

Pripravili smo hibridne sol-gel prevleke iz TEOS in MAPTMS z dodajanjem cirkonijevega(IV) tetrapropoksida, zamreženega z metakrililno kislino (TMZ), in jih nanesli na aluminij. Poudarek študije je bil na kombinaciji dveh strategij protikorozijske zaščite: barierna zaščita, ki jo zagotavlja 3,8 µm debela hibridna sol-gel prevleka TMZ, prekrita s 100 nm debelo plastjo aluminijevega oksida (slika 7). Si-O-Zr hibridna sol-gel prevleka TMZ je bila sintetizirana z združitvijo dveh ločeno pripravljenih solov i) tetraetil ortosilikata in 3-metakriloksipropil trimetoksililana ter ii) cirkonijevega(IV) n-propoksida, kelatiranega z metakrililno kislino. Sintezo hibridnega sol-gela Si-O-Zr smo na različnih stopnjah ocenili z infrardečo spektroskopijo v realnem času. Po hidrolizi in kondenzaciji so se kelatne reakcije ustavile na določeni stopnji, pri kateri je prišlo do učinkovite vključitve cirkonija v siloksansko mrežo. Reakcije so se zaključile po termičnem sušenju. 100 nm debela plast Al₂O₃ je bila pripravljena z atomskim nanašanjem plasti pri 160 °C z uporabo trimetil aluminija in vode kot prekursorjev. Lastnosti prevlek in filma so bile ocenjene s pomočjo mikroskopije s fokusiranim ionskim snopom, vrstične mikroskopije in energijsko disperzijske rentgenske spektrometrije. Zatesnitev (angl. sealing) s filmom Al₂O₃ ni vplivala na mikrostrukturo in sestavo osnovne sol-gel prevleke. Korozijsko učinkovitost prevleke v 0,1 M raztopini NaCl



Slika 7: (zgoraj) Shematski prikaz hibridne sol-gel TMZ prevleke, prekrīte s plastjo Al₂O₃, pripravljeno z atomskim nanosom plasti (spodaj levo). EIS spektri za neprekrīte vzorce Al in vzorce, prekrīte s prevlekami TMZ in Al₂O₃ ter večplastno prevleko TMZ-Al₂O₃ (spodaj desno). SEM slika in EDS mapping analiza večplastne prevleke TMZ-Al₂O₃.

smo ocenili z elektrokemijsko impedančno spektroskopijo. V primerjavi s posameznimi prevlekami je večplastna prevleka $\text{TMZ}/\text{Al}_2\text{O}_3$ zagotovila dolgotrajno (več kot tri tedne) korozijsko zaščito aluminija. Velikost impedance se je v primerjavi s podlago brez prevleke povečala za dva reda ($|Z|_{10\text{ mHz}}$ s $16\text{ k}\Omega\text{ cm}^2$ na skoraj $830\text{ M}\Omega\text{ cm}^2$) po eni uri potopitve v $0,1\text{ M NaCl}$. Tako je z zatesnitvijo por prevleke sol-gel z uporabo ALD filma aluminijevega oksida nastala zaščitna večplastna prevleka, pri kateri je velikost impedance $|Z|_{10\text{ mHz}}$ po štirih tednih v raztopini NaCl ostala nad $5\text{ M}\Omega\text{ cm}^2$.

Poleg laboratorijskih raziskav in testiranj sol-gel prevlek, razvitih v našem laboratoriju, smo izvajali terensko testiranje in vpliv prevlek na okolje. Šest hibridnih sol-gel prevlek na osnovi siloksanskih in akrilnih mrež, nanesenih na strukturno jeklo, je bilo testiranih v laboratoriju in ustreznih okoljih glede zaščite pred korozijo in sposobnost proti obraščanju. Prevele so se razlikovale po dolžini alkilne verige akrilnih derivatov (metil M1, etil E2, butil B4, heksil H6, oktil O8 in dodecil D12), kar je povzročilo spremembo hidrofobnosti in spremembo strukturne celovitosti prevleke. Jeklena podlaga hitro korodira v kloridnem okolju in jo je težko zaščititi z razmeroma tankimi prevlekami (manj kot $10\text{ }\mu\text{m}$). Laboratorijski korozijski test umetno poškodovanih prevlek v težkih korozivnih pogojih ($5\text{ mas. \% NaCl}$ in $35\text{ }^\circ\text{C}$) 15 dni je pokazal, da so prevleke z etil in butilakrilatnimi derivati pokazale najboljšo korozijsko učinkovitost površine brez poškodb zaradi razslojevanja.

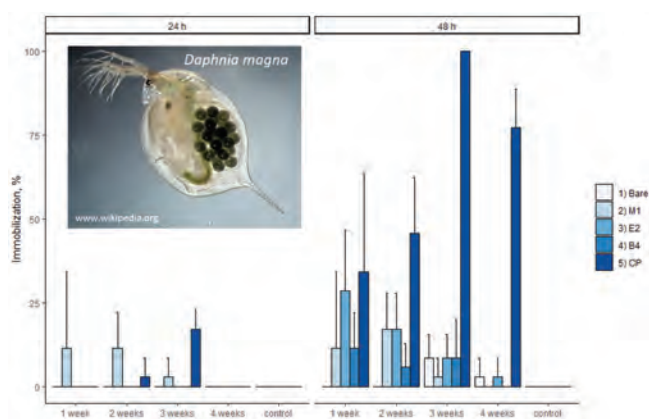
Štirimesečni rezultati terenskih testiranj v koprskem pristanišču v Jadranskem morju kažejo, da so derivati na osnovi etila in butila zagotovili najbolj zadovoljivo zaščito strukturnega jekla pred korozijo in obraščanjem. Po štirih mesecih v Jadranskem morju je bilo obraščanje vidno prisotno na površini, vendar ga je bilo mogoče odstraniti z ultrazvočno sonikacijo, ki simulira plutje ladje. Komerzialno dostopna barva na osnovi silikona, ki je bila veliko debelejša od sintetiziranih prevlek, ni pokazala pritrjevanja makroorganizmov, temveč le mikroorganizme, ki so bili s prostim očesom komaj vidni. V sladki vodi reke Ljice korozija in obraščanje nista bila tako očitna, sintetizirane prevleke pa so delovale primerljivo učinkovito kot komercialno dostopne barve.

Rezultati testa ekotoksičnosti mikrorakov in mikroalg so pokazali, da imata najbolj obetavni hibridni prevleki E2 in B4 najmanj ekotoksične lastnosti. Ob potopitvi kovinskih vzorcev, prekritih s prevleko, se v vodo sproščajo degradacijski produkti prevleke (izlužila), ki smo jih testirali glede toksičnosti, in sicer z imobilizacijo mikrorakov *Daphnia magna*. Opazili smo rahlo toksičnost, vendar še vedno precej manjšo v primerjavi s komercialno barvo, ki vsebuje biocid (slika 8). Podobne rezultate smo dobili s testom mikroalg *Desmodesmus subspicatus*. Na splošno so hibridne prevleke pokazale obetavne rezultate testiranja na terenu in predstavljajo dobro osnovo za nadaljnji razvoj barvnega sistema nebiocidnih prevlek, katerih primarno delovanje je omogočanje enostavnega odstranjevanja obraščanja.

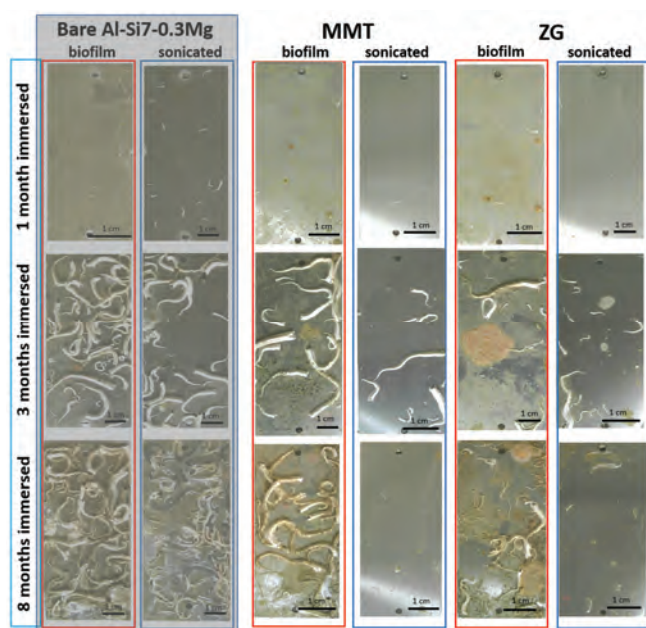
Drug terenski test v Jadranskem morju je bil izveden na litih aluminijevih zlitinah z in brez dveh vrst hibridnih prevlek. Zlitine aluminija in silicija se vse pogostejše uporabljajo v različnih aplikacijah, vključno z izdelavo ladijskih trupov. Raziskali smo dve liti zlitini Al-Si: Al-Si9-Cu3 in Al-Si7-Mg0.3. Najprej smo preučevali mikrostrukturo, kemijsko sestavo in elektrokemijske lastnosti nepotopljenih zlitin, kar je razkrilo njihovo heterogeno naravo. Potem smo izvedli osem mesečno terensko testiranje s potopitvijo v Jadransko morje, da bi preizkusili dolgotrajno odpornost proti koroziji in obraščanju. Morfološke in kemijske spremembe na površini, ki jih povzroči potopitev, so bile raziskane s površinskimi analitičnimi tehnikami. Elektrokemijske meritve potopljenih vzorcev v umetno morsk vodo so pokazale, da se med potopitvijo tvori zaščitna, nekaj mikrometrov debela oksidna plast. Zlitina Al-Si9-Cu3 tvori plast, bogato z magnezijem, medtem ko je tista, ki je nastala na Al-Si7-Mg0.3, bogata s silicijem. Elektrokemijski rezultati kažejo, da sta obe zlitini primerni za uporabo v morskih okoljih, kjer je Al-Si7-Mg0.3 bolj odporen kot Al-Si9-Cu3. Biološko obraščanje, ki nastane v roku enega meseca potopitve, je mogoče odstraniti s sonikacijo. Ob koncu obdobja potopitve pa je bilo makro biološko obraščanje trdno pritrjeno na površino zlitin, kar smo pokazali z vrstično elektronsko mikroskopijo.

Nanos hibridnih prevlek MMT in ZG je imel namen preprečiti ali zmanjšati biološko obraščanje litih Al zlitin. Obe prevleki sta hibridni, to pomeni, da vsebujeta anorganski del sol-gel mreže in organski, polimeriziran del mreže. Preveleki sta bili pripravljene v dveh korakih z dvema ločeno pripravljenima raztopinama. Prevleka MMT na osnovi akrilata vsebuje anorganski del siloksanskih vezi Si-O-Si, pomešan z organsko polimerizirano akrilatno mrežo. ZG prevleka na epoksi osnovi vsebuje anorganski del vezi Zr-O-Zr in Zr-O-Si, pomešan s polimerizirano organsko mrežo.

Marca 2023 je bila prof. dr. I. Milošev vabljen predavateljica na 34. Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Mar del Plata, Argentina, novembra 2023 pa na 19. Asian Pacific Corrosion Conference v mesto Guangzhou na Kitajskem.



Slika 8: Imobilizacija mikrorakov *Daphnia magna* (fotografija), določena v izluženih vodah, odvzetih po 24 in 48 urah potopitve vzorca neprekrtega jekla, vzorcev, prevlečenih s hibridnimi sol-gel prevlekami M1, E2 in B4, in vzorca, prekrita s komercialno barvo Seajet 034 Emperor (CP). Kontrola je medij ADaM (umetna sladka voda za gojenje zooplanktona). Označeni so standardni odkloni.



Slika 9: Posnetki vzorcev neprekrtega jekla in vzorcev jekla, prikritih s prevlekama MMT in ZG po 1, 3 in 8 mesecih potopitve v Jadranskem morju, po potopitvi in po odstranitvi biooblasti s sonikacijo.

Rentgenska fotoelektronska spektroskopija (XPS) analiza je potrdila, da so prevleke pretežno organske in v MMT vsebujejo Si(IV) oksid ter v ZG Si(IV) in Zr(IV) oksid. Prevleki zmanjšujeta omočljivost površine, sta homogeni in gosti ter imata nanostrukturno morfologijo.

Po 8 mesecih potopitve prevlečenih zlitin v Jadranskem morju je nastala biooblast, ki pa je bila v znatnem deležu lahko odstranjena s sonikacijo, zlasti pri zlitini Al-Si7-Mg0.3. Prevleki sta ostali sijoči in skoraj nedotaknjeni. Analiza XPS je pokazala, da je bil Al zaznan na površini prevleke po potopitvi, kar kaže na nekaj raztapljanja skozi pore, vendar se je struktura prevlek ohranila.

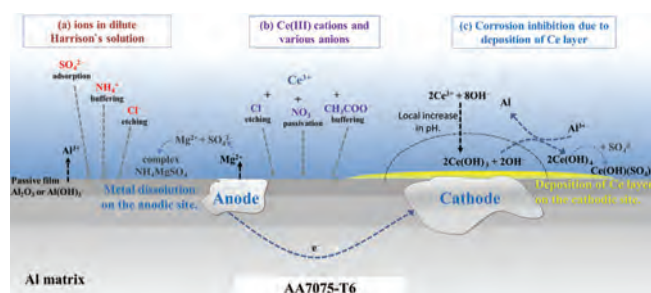
Elektrokemijske meritve so potrdile, da sta obe hibridni sol-gel prevleki MMT in ZG, naneseni na lite zlitine Al-Si, delovali kot barieri, vendar so bile boljše lastnosti dosežene, če sta bili naneseni na zlitino Al-Si7-Mg0.3. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko potrdimo, da so ti premazi obetavni kandidati za pomorske aplikacije, ki delujejo po principu obraščanja in sproščanja med plutjem ladje, ki smo jo v študiji simulirali s sonikacijo (slika 9).

3. Protikorozijska zaščita s cerijevimi in cirkonijevimi spojinami

Pri zaščiti pred korozijo so cerijeve in cirkonije prevleke alternativa kromatnim prevlekam, za katere je znano, da so strupene za ljudi in neustrezne za okolje. Spojine Ce in Zr so v središču naših raziskav že več kot desetletje. Te spojine so okolju prijazne in lahko dosežejo visoko učinkovitost zaščite pred korozijo.

Inhibitorje na osnovi cerija smo proučevali na aluminijevi zlitini AA7075-T6. Zaradi ustreznih fizikalnih in kemijskih lastnosti v kombinaciji z relativno majhno težo ima AA7075-T6 veliko aplikacij v avtomobilski in letalski industriji, raznih gospodinskih aparatih in na drugih tehničnih področjih. Zaradi intermetalnih delcev, sestavljenih predvsem iz Al, Zn, Cu, Fe in Mg, so mehanske lastnosti izboljšane v primerjavi s kovino Al. Vendar pa se IMP lahko raztopijo ali zaradi razlik v elektrokemijskem potencialu proizvedejo galvanске tokove z okoliškim Al matriksom, kar povzroči močno lokalno korozijo. Takšni korozijski procesi se običajno pojavljajo v okoljih, ki vsebujejo relativno visoko koncentracijo kloridnih ionov (Cl^-). Poleg tega je elektrokemijsko vedenje aluminijevih zlitin odvisno od temperature korozivnega medija, pH, vsebnosti raztopljenega kisika itd. Kar zadeva sestavo korozivnega medija, kloridni ioni niso edino onesnaževalo v industrijskih in mestnih območjih. Treba je upoštevati druge anorganske

Dva članka, ki so ju objavili raziskovalci odseka K3, sta med najbolj citiranimi nedavnimi članki v reviji *Corrosion Science*: Synergistic effect of 2-mercaptobenzimidazole and octylphosphonic acid as corrosion inhibitors for copper and aluminium - An electrochemical, XPS, FTIR and DFT study D. K. Kozlica, A. Kokalj in I. Milošev ter *Corrosion inhibitors: physisorbed or chemisorbed?* A. Kokalj.



Slika 10: Shematski prikaz (a) mehanizma raztapljanja aluminijeve zlitine 7075 v razredčeni Harrisonovi raztopini (0,35 mas. % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 0,05 \text{ mas. \% NaCl}$), (b) interakcije cerijevih kationov z različnimi anioni in (c) korozije inhibicija zaradi depozicije Ce plasti.

zvrsti, kot so amonijevi (NH_4^+), sulfatni (SO_4^{2-}) in nitratni (NO_3^-) ioni, ki jih najdemo v obliki NH_4NO_3 in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ali NH_4HSO_4). Tudi ti ioni indicirajo korozijo na številnih aluminijevih zlitinah. Korozivne pogoje je tako mogoče bolje simulirati s tako imenovano razredčeno Harrisonovo raztopino (DHS) (0,35 mas. % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 0,05 \text{ mas. \% NaCl}$), ki poleg Cl^- vsebuje tudi SO_4^{2-} in nitrat NO_3^- , ki odsevata okoljske in atmosferske razmere. Študij aluminijevih zlitin v DHS pa je razmeroma malo.

Naša študija je torej obravnavala obnašanje aluminijeve zlitine in njenih komponent v pogojih, ki simulirajo prisotnost atmosferskih soli (DHS). Proučevali smo korozijo sintetičnih intermetalnih spojin (IMC) Al_2Cu , Al_2CuMg , $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, MgZn_2 in aluminijeve zlitine 7075-T6. Za IMC so bile elektrokemijske meritve izvedene z uporabo mikrocelice, standardna elektrokemijska celica pa je bila uporabljena za proučevanje zlitine 7075-T6. Ločeno smo izmerili katodne in anodne potenciodinamske polarizacijske krivulje, vedenje vzorcev med dolgotrajno potopitvijo pa smo karakterizirali s tehniko EIS. Zlitina AA7075-T6 je bila manj dovzetna za korozijo v DHS kot v raztopini NaCl, kar izhaja iz blagodejnega vpliva prisotnosti sulfatnih ionov in nižje koncentracije klorida. Občutljivost IMC za korozijo v DHS se je povečala v vrstnem redu $\text{Al}_2\text{Cu} < \text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe} < \text{Al}_2\text{CuMg} < \text{MgZn}_2$ zaradi povečanega raztapljanja Mg v prisotnosti amonijevih ionov. Relativno plemenitost IMC glede na zlitino smo določili na podlagi gostote galvanškega toka. Nadalje je bila ovrednotena možnost uporabe soli cerijevega klorida, nitrata in acetata kot inhibitorjev korozije v DHS (slika 10). Cerijeve soli so med 14-dnevnim testiranjem delovale kot

inhibitorji zlitine in tvorile plast Ce hidroksida. Stopnja zaščite je odvisna od vrste aniona, najučinkovitejša pa je acetatna Ce sol. Do inhibicije s solmi Ce pa ni prišlo med kratkotrajnimi meritvami sintetičnih intermetalnih spojin v mikroclici, kar smo razložili s časovno omejitvijo meritev v mikroclici, ki ujamejo le prvo stopnjo procesa, to je aktivacijo, ne pa tudi inhibicijo, ki potrebuje nekoliko daljši čas.

Omejeno poznavanje kemije cirkonijevih konverzijskih prevlek (ZrCC) neposredno izhaja iz omejenega poznavanja kemije Zr v vodnih raztopinah. Velika nagnjenost cirkonija k hidrolizi, skupaj s hitro spremembo geometrije in koordinacije ter občutljivostjo na sestavo raztopine, bistveno ovira proučevanje sestave in geometrije spojin Zr. Primarna funkcija heksafluorocirkonata (ZrF_6^{2-}) je zagotoviti aktivacijo s kovinsko površino, hkrati pa prilagoditi pH od zelo kislega do tistega, ki je sprejemljiv za konverzijo (tj. pretvorbo heksafluorocirkonata v cirkonijev hidroksid). V naši najnovejši študiji smo izdelali ravnotežne diagrame prevladujočih Zr zvrsti o odvisnosti od pH v vodnih raztopinah Zr–OH in Zr–F, pri čemer je bila amorfnna faza Zr določena kot osnova za opis mehanizma tvorbe ZrCC (slika 11). Tetramer $\text{Zr}_4(\text{OH})_8^{8+}$ je bil izbran za predstavnika polinuklearnih zvrsti in temeljni gradnik trdne faze. Izdelani diagrami prevladujočih zvrsti Zr so bili osnova za posodobljen diagram E–pH (Pourbaix-ov diagram), ki je vseboval ZrOH^{3+} in $\text{Zr}_4(\text{OH})_8^{8+}$ namesto prej uporabljenega ZrO_2^+ . H_2ZrF_6 deluje kot vir fluorida, služi pa tudi za uravnavanje pH, primerne za pretvorbo. Torej je njegova vloga v konverzijski kopeli dvojna.

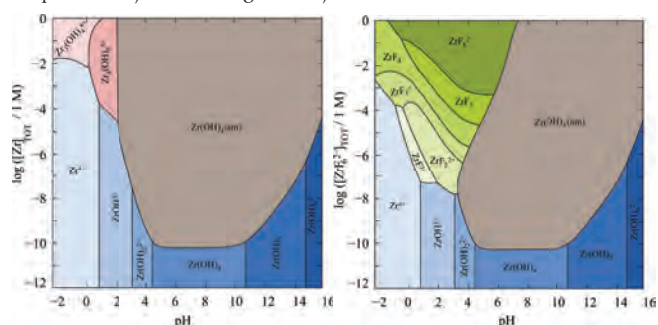
4. Modeliranje nanoploščic barijevega heksaferata

S pomočjo računalniškega modeliranja na podlagi prvih principov smo se osredotočili tudi na pridobivanje atomističnega vpogleda v fizikalno-kemijske lastnosti edinstvenih nanodelcev barijevega heksaferita (BHF). Ti nanodelci rastejo v obliki ploščic, z majhno debelino vzdolž glavne osi magnetizacije in večjo širino vzdolž drugih smeri. Delci izkazujejo enoosno magnetno anizotropijo, usmerjeno pravokotno na ploščico. Ta edinstvena lastnost nanoploščic BHF je privedla do številnih novih aplikacij. Eksperimenti pa so pokazali, da v odvisnosti od pogojev v raztopini nanoploščice izkazujejo dve različni površinski morfologiji. Cilj naše raziskave je bil pojasniti ta eksperimentalna opažanja na atomski ravni, za kar smo uporabili t. i. atomistično termodinamiko in sistematično preiskali termodinamične stabilnosti terminacij kristala BHF v širokem razponu kemičnih pogojev. Izračunali smo površinske fazne diagrame čistih in hidroksiliranih terminacij vzdolž kristalne *c*-osi (ki ustreza osi magnetizacije). Ugotovili smo, da pri čistih terminacijah, ko v sistemu ni vode, prevladujeta dve: z barijem terminirana površina, ko je barij v presežku, in z železom terminirana površina v pogojih, kjer je barij v pomanjkanju. V prisotnosti vode je najstabilnejša popolnoma hidroksilirana terminacija s plastjo kisika, ki prevladuje pri nizkih pH vrednostih in ko je barij v pomanjkanju. Medtem ko je pri visokem pH in ko je barij v presežku najstabilnejša hidroksilirana, z barijem terminirana površina. Naše ugotovitve (grafično povzete na sliki 12) se dobro ujemajo z zgoraj omenjenimi eksperimentalno ugotovljenimi površinskimi morfologijami nanoploščic.

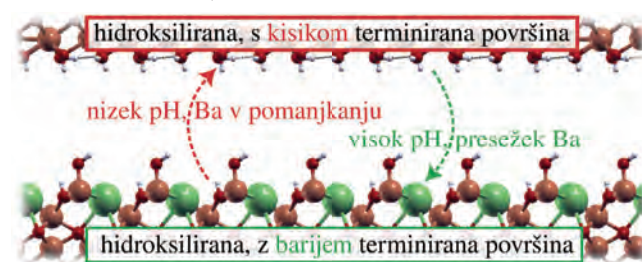
Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kraš A., Milošev I., The Aqueous Chemistry of Zirconium as a Basis for Better Understanding the Formation of Zirconium Conversion Coatings: Updated Thermodynamic Data, *J. Electrochem. Soc.*, 2023, **170**, 2, 021508
2. Milošev I., Scully J. R., Challenges for the corrosion science, engineering, and technology community as a consequence of growing demand and consumption of materials: A sustainability issue, *Corrosion*, 2023, **79**, 9, 988-996
3. Rodič P., Milošev I., Frankel G. S., Corrosion of synthetic intermetallic compounds and AA7075-T6 in dilute Harrison's solution and inhibition by cerium(III) salts, *J. Electrochem. Soc.*, 2023, **170**, 3, 031503
4. Hamulič D., Medoš G., Korte D., Rodič P., Milošev I., The effect of curing temperature and thickness of polybutyl methacrylate siloxane coatings on the corrosion protection of structural steel S355, *Coatings*, 2023, **13**, 4, 675
5. Kokalj A., On the use of the Langmuir and other adsorption isotherms in corrosion inhibition, *Corros. Sci.*, 2023, **217**, 111112

Izraz za sinergijski parameter pri inhibiciji korozije je bil posplošen in razširjen na vekomponentne mešanice inhibitorjev.



Slika 11: Posodobljeni diagrami, izdelani z upoštevanjem sprememb ionskih moči, prevladujočih zvrsti Zr(IV) (levo) in Zr–F (desno) v raztopini NaCl pri 25 °C.



Slika 12: Shematski povzetek glavnih rezultatov raziskave površinske morfologije nanoploščic barijevega heksaferita z modeliranjem na podlagi prvih principov.

- Chiter F., Costa D., Poberžnik M., Milošev I., Marcus P., Kokalj A., DFT Study of Cl⁻ ingress into organic self-assembled monolayers on aluminum, *J. Electrochem. Soc.*, 2023, **170**, 7, 071504
- Poberžnik M., Herrero-Saboya G., Makovec D., Lisjak D., Martin-Samos L., Surface phase diagrams of pristine and hydroxylated barium hexaferrite surfaces from first-principles atomistic thermodynamics, *Appl. Surf. Sci.*, 2023, **637**, 157890

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

- Prof. Ingrid Milošev, prof. Noel D. Buckley (Univerza v Limericku, Irska), prof. Petr Vanysek (Tehnična univerza v Brnu, Češka) in dr. Oumaima Gharbi (Univerza Sorbona, Francija) so organizirali simpozij *Mladi raziskovalci v Evropi: Poseben simpozij in delavnica* na srečanju Electrochemical Society (ECS) v Göteborgu na Švedskem oktobra 2023. Simpozij je bil dvodnevni dogodek, ki ga je organizirala evropska sekcija ECS in so ga podprle vse sekcije ECS. Edinstvena značilnost simpozija je bila, da je bil sestavljen iz trminutnih prezentacij *elevator pitches*, kjer so raziskovalci na začetku kariere lahko izpostavili svoje delo. Program je bil dopolnjen s šestimi 40-minutnimi vabljenimi predavanji avtorjev z izkušnjami štipendij ali mednarodnih raziskovalnih konzorcijev in sodelovanja. Namen je bil združiti in olajšati povezave med znanstveniki in inženirji na tem področju ter promovirati uspešne mlade znanstvenike na področju elektrokemije. Simpozij je bil zelo uspešen in obiskan, saj je pritegnil več kot 400 prispevkov in nekaj sto udeležencev. Od tega jih je bilo 100 izbranih za kratke predstavitve.

Nagrade in priznanja

- Doc. dr. Peter Rodič je bil mentor več projektov, ki so jih izvedli dijaki in so bile nagrajene na različnih tekmovanjih: Mija Kapun in Daniil Gainullov (Gimnazija Jožeta Plečnika) – 53. Krkino priznanje in srebrno priznanje na tekmovanjih ZOTKS; Ela Podboršek in Tim Strnad (Gimnazija Vič) – 53. Krkina nagrada, zlata medalja na Genius Olympics v ZDA in zlata medalja na mednarodnem projektu Olympics Vilnius International Project.

MEDNARODNI PROJEKTI

- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Ingrid Milošev
- Protikorozijska zaščita zlitin, izdelanih iz primarnih in sekundarnih surovin
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Ingrid Milošev
- Nanos prevlek z atmosfersko tlačno plazmo: sinteza in karakterizacija
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Peter Rodič
- OE - MaX; Modeliranje in simulacije materialov na eksa skali
European Commission
prof. dr. Anton Kokalj
- COST CA22154; DAEMON - Odprto omrežje za podatkovno vodene aplikacije usmerjene v inženiring funkcionalnih materialov
COST Association AISBL
prof. dr. Anton Kokalj

PROGRAMA

- Kemija za trajnostni razvoj
doc. dr. Peter Rodič
- Napredni materiali za nizkoogljeno in trajnostno družbo
prof. dr. Ingrid Milošev

PROJEKTI

- Razvoj sodobnih nanostrukturiranih katalizatorjev za hidrogenacijo ogljikovega dioksida v metanol
prof. dr. Anton Kokalj
- Določevanje struktur spojin žlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
prof. dr. Anton Kokalj
- 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Anton Kokalj
- Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba
prof. dr. Ingrid Milošev
- ChlorideSAM; DFT študija mehanizma prodiranja Cl⁻ v organske samosestavljene monosloje na aluminiju
CNRS
prof. dr. Anton Kokalj

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- Študije korozijskih procesov rotorskih in statorskih komponent elektromotorskih pogonov za avtomobilске aplikacije v okviru misije Gremo i-Motion
Kolektor Mobility, d. o. o.
prof. dr. Ingrid Milošev

OBISKI

1. Dr. Simon Chwatal, Mirjam Spuller, Joanneum Institute, Avstrija, 22.–24. 3. 2023 in 15. 6. 2023
2. Prof. dr. Daniel Lyons, Centar za istraživanje mora, Institut Ruder Bošković, Hrvatska, 19. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Denis Sačer: *Synthesis of graphene oxide and reduced graphene oxide and their surface modification for supercapacitor applications*, 13. 2. 2023
2. Anton Kokalj: *Considering the concept of synerism in corrosion inhibition*, 13. 3. 2023
3. Simon Chwatal: *Overview JOANNEUM RESEARCH: Functional Atmospheric Pressure Plasma Layers*, 23. 3. 2023
4. Peter Rodič: *Tečaj prve pomoči*, 17. 4. 2023
5. Ela Podboršek in Tim Strnad, Gimnazija Vič: *Advanced superhydrophobic coatings based on modified silica nanoparticles deposited on a glass surface*, 17. 4. 2023
6. Matjaž Dlouhy: *Interactions of azole molecules with hydrated copper ions*, 8. 5. 2023
7. Matjaž Dlouhy: *Interactions of azole molecules with copper ions and copper surfaces covered with chemisorbed H, O, OH or Cl*, 12. 5. 2023
8. Lea Gašparič: *Basic programming and graph plotting in Python*, 10. 7. 2023
9. Ana Koblar: *Vpliv organskega inhibitorja in pH na korozijo bakrovih zlitin*, 11. 9. 2023
10. Lea Gašparič: *Surface reactivity of Pt and Ru towards hydrogen*, 11. 9. 2023
11. Matjaž Dlouhy: *Molecular modeling of the formation of of hydrated coordination complexes between N-heterocyclic molecules and copper ions*, 11. 9. 2023
12. Katarina Kokalj: *The role of dipolar interactions in crystal structures*, 11. 9. 2023
13. Lea Gašparič: *DFT analysis of metallic catalysts for hydrogen evolution*, 19. 9. 2023
14. Ana Kraš: *Deposition and protection mechanisms of zirconium conversion coatings on aluminium-, steel- and zinc substrates*, 21. 9. 2023

15. Erik Gregori: *S-containing azoles as corrosion inhibitors for copper*, 22. 9. 2023
16. Galina A. Tsirlina, odsek F7, *Electrochemical fabrication of nanostructures and their fragments*, 27. 11. 2023
17. Daniel Lyons, Institut Ruder Bošković, *Leveraging materials chemistry for environmental research*, 19. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH IN STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. L. Gašparič, E. Gregori, A. Kokalj: 15. Študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, 31. 5.–2. 6. 2023
2. I. Milošev: 34th Topical ISE Meeting, 19.–22. 3. 2023
3. I. Milošev, 19th Asian-Pacific Corrosion Control Conference, 16.–18. 11. 2023
4. I. Milošev, 10. raziskovalni dan Ortopedske bolnišnice Valdoltra, 9. 6. 2023
5. I. Milošev, P. Rodič, T. Požnenel Kovačič, D. Sačer, B. Kapun, Akademija strojništva, 22. 11. 2023
6. P. Rodič, Y. Kurupehlivan, N. Kovač, B. Kapun, I. Milošev, K. Kokalj, A. Kokalj, Cutting Edge 2023: Careers in science, 21. 9. 2023
7. L. Gašparič, CrossNano 2023: Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology, 21.–23. 2. 2023
8. L. Gašparič, A. Kokalj, M. Poberžnik, Slovenski kemijski dnevi 2023, 13.–15. 9. 2023
9. M. Dlouhy, Cutting Edge 2023: Careers in science, 21. 9. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. dr. Matic Poberžnik, CNR-IOM (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto Officina dei Materiali, Trst, Italija, 1. 1. 2023–30. 5. 2023 (podoktorsko izpopolnjevanje)
2. Ana Kraš, Helmholtz Zentrum Hereon, Geestacht, Nemčija, 1. 6. 2023–15. 6. 2023 (izmenjava v okviru programa Erasmus Plus)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Ingrid Milošev, znanstvena svetnica - vodja odseka**
2. prof. dr. Anton Kokalj, znanstveni svetnik
3. doc. dr. Peter Rodič

Podoktorski sodelavci

4. dr. Njomza Ajvazi
5. dr. Matjaž Dlouhy
6. dr. Matic Poberžnik
7. dr. Terezija Požnenel Kovačič
8. Denis Sačer, PhD., Hrvatska

Mlajši raziskovalci

9. Lea Gašparič, mag. kem.
10. Erik Gregori, mag. inž. kem. inž.
11. Ana Koblar, mag. inž. metal. in mater.
12. Nina Kovač, mag. appl. chem., R. Hrvatska
13. Ana Kraš, mag. appl. chem., R. Hrvatska

Strokovni sodelavci

14. Barbara Kapun, dipl. inž. kem. tehnol.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
2. Univerza v Novi Gorici, Laboratorij za raziskavo materialov
3. Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Ankarana
4. Kemijski inštitut, Ljubljana
5. Center odličnosti CIPKeBiP, Ljubljana

6. Center odličnost Nanocenter
7. Talum, d. d., Kidričevo
8. Trimio, d. o. o., Trebnje
9. Hidria, d. o. o., Ljubljana
10. Kolektor Mobility, d. o. o., Idrija
11. Alkemika, d. o. o., Celje
12. Gabrijel Aluminium, Grosuplje
13. University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology, Zagreb, Hrvatska
14. CNR-IOM DEMOCRITOS National Simulation Center, Trst, Italija
15. SISSA/ISAS – International School for Advanced Studies, Trst, Italija
16. CNR, Istituto di Scienze e Tecnologie Molecolari, Milano, Italija
17. University of Udine, Polytechnic Department of Engineering and Architecture, Italija
18. University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Srbija
19. University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Srbija
20. University of Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Department of Materials Science and Engineering, Nemčija
21. The Ohio University, Fontana Corrosion Center, Columbus, ZDA
22. Hasselt University, Institute for Materials Research, Hasselt, Belgija
23. National University of Mar del Plata, INTEMA, Conicet, Argentina
24. Universitat Politècnica de Catalunya, Department of Physics, Barcelona, Španija
25. Delft University of Technology, Materials Science and Engineering, Nizozemska
26. CNRS, Chemie ParisTech, PSL University, Institut de Recherche de Chimie Paris, Francija
27. Institut Jean Lamour & Université de Lorraine, Francija
28. Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research LTD, Budimpešta, Madžarska
29. Joanneum Research Materials, Niklasdorf, Avstrija
30. University of Virginia, Department of Materials Science and Engineering, ZDA
31. University of La Laguna, La Laguna, Tenerife, Španija
32. Université de Lorraine, CNRS, Institut Jean Lamour – UMR 7198, Nancy, Francija

Odsek za elektronsko keramiko raziskuje sintezo, lastnosti in uporabo keramičnih materialov za elektroniko in energetiko, pretežno kompleksnih materialov in struktur, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali). To so predvsem piezoelektriki, feroelektriki, relaksorji, multiferoiki, prevodni oksidi, nizko dimenzionalni magneti in bakrovi superprevodniki. Poudarek raziskav je na kreiranju lastnosti s sintezo in strukturo na nano-, mikro- in makroravni. Raziskujemo tudi osnove procesov za pripravo senzorjev tlaka, keramičnih mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) in fleksibilne elektronike.



Vodja:

prof. dr. Barbara Malič

Nadaljevali smo delo na feroelektrikih brez svinca. Raziskovali smo in situ dinamični odziv mobilnih, igličastih domen in domenskih sten kristala $(\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ na električno polje z uporabo presečne vrstične elektronske mikroskopije. Pokazali smo, da rast in združevanje domen nista vedno kontinuirana, ampak se lahko pri določeni napetosti prekineta zaradi oviranja domen med seboj med rastjo ali zaradi tvorbe nanoskopskih domen. Študija je bila objavljena v reviji *Applied Physics Letters*.

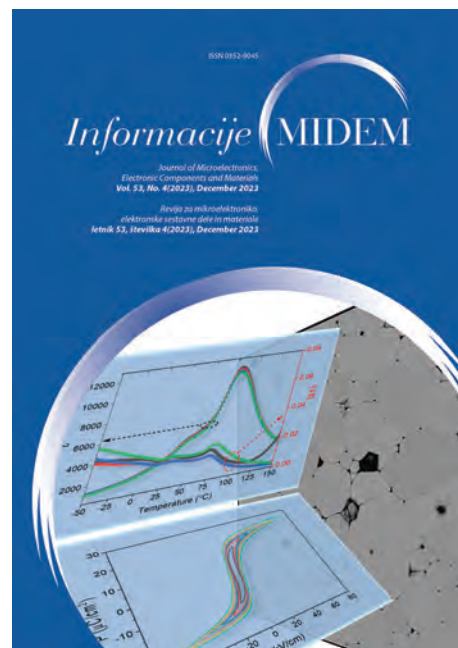
S sodelavci s Tehnične univerze Darmstadt v Nemčiji smo študirali večplastne keramične kondenzatorje (MLCC) na osnovi $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ z Ag/Pd notranjimi elektrodami. Optimizacija mikrostrukture MLCC je vključevala načrtovanje keramične suspenzije, nalivanje, sitotisk elektrod, laminiranje in oblikovanje večplastnih elementov ter prilagajanje temperaturnega programa segrevanja za učinkovito odstranjevanje organskih dodatkov. MLCC-ji so izkazali stabilno kapacitivnost z odstopanjem $\leq \pm 10\%$ v širokem temperaturnem intervalu (-67°C do 375°C) in pri napetosti do 1,5 kV. MLCC-ji na osnovi $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ so primerna alternativa elementom na osnovi svinca za uporabo pri visokih temperaturah in v močnostni elektroniki. Študija je bila objavljena v *Journal of the European Ceramic Society*.

Nadaljevali smo z raziskavami keramike na osnovi BiFeO_3 , ki je trenutno v središču pozornosti zaradi obetavnih lastnosti za uporabo pri pretvorbi in shranjevanju energije; vendar pa temeljne odnose strukturalnosti v teh materialih še vedno slabo razumemo. Izvedli smo niz analiz keramike $\text{BiFeO}_3\text{-SrTiO}_3$ (BFO-ST) s pomočjo in situ metode rentgenske difrakcije z našimi sodelavci s Tehniške univerze na Danskem. Posebej smo identificirali fazni prehod iz neergodične v feroelektrično fazo, ki ga povzroča ciklanje električnega polja, pogosto imenovan proces zbujanja. Ugotovili smo, da se povečana stopnja naključne zasedenosti kristalografskih mest in s tem večjega nereda porazdelitve nabojev z večanjem deleža ST v trdni raztopini BFO-ST ujema z večanjem kritičnega polja, potrebnega za sprožitev prehoda. To je zagotovilo določeno stopnjo svobode pri obvladovanju ergodičnosti sistema, kar je ključni vidik pri oblikovanju materialov za shranjevanje energije. Uredniški odbor revije *Journal of Materials Chemistry C* je članek označil kot vroči članek v letu 2023.

Med piezoelektričnimi keramičnimi materiali brez svinca, ki bi lahko nadomestili svinčeve perovskite, kot je $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), je tudi $0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3\text{-}0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ (BZT-BCT). Tanke plasti BZT-BCT predstavljajo možnost miniaturizacije komponent in naprav. Eden od parametrov, potrebnih za načrtovanje plastnih struktur na različnih podlagah, je linearni termični raztezek. Volumensko keramiko BZT-BCT smo pripravili s sintezo v trdnem stanju in s sintranjem pri 1450°C . Na osnovi meritve dielektričnosti (ϵ') v odvisnosti od temperature je prehod iz nizkotemperaturne polarne feroelektrične faze v visokotemperaturno nepolarno fazo pri približno 85°C . Linearna razteznostna koeficienta polarne in nepolarne faze BZT-BCT sta $7,69 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ($40^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$) in $12,39 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ($100^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$). Rezultati so bili objavljeni v reviji *Informacije MIDEM*. [slika 1]

Februarja 2023 smo objavili pregledni članek v reviji *Communication Materials*, ki zajema najnovejše vidike visoko zmogljivih relaksorsko-feroelektričnih perovskitnih materialov, ki vsebujejo svinec. Pregled ponuja kritično oceno trenutnega razumevanja teh kompleksnih materialov, zlasti v povezavi z njihovimi visokimi piezoelektričnimi odzivi. Članek

Mojca Otoničar, Mirela Dragomir in Tadej Rojac so prejeli nagrado Edwarda C. Henryja za članek z naslovom *Dinamika domenskih sten v feroelektrikih in relaksorjih*. Nagrado vsako leto podeljuje Ameriško keramično društvo za najboljši prispevek, objavljen v *Journal of the American Ceramic Society* in *American Ceramic Society Bulletin*.

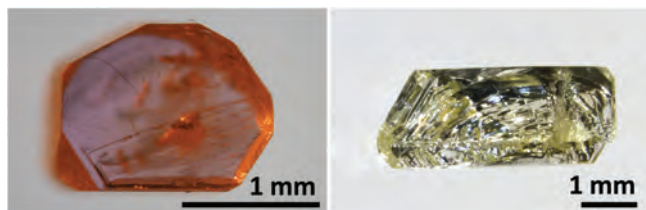


Slika 1: Mikrostruktura, dielektrične in feroelektrične lastnosti okolju prijazne piezoelektrične keramike $0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3\text{-}0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$

Mojca Otoničar je na Mednarodni konferenci o feroelektričnih materialih in aplikacijah v Clevelandu, Ohio, ZDA organizirala dogodek Ženske v inženirstvu o ovirah, s katerimi se soočajo mlade ženske v znanosti in akademskem svetu, ter o pristopih, ki jih lahko raziskovalci sprejmejo za zmanjšanje teh ovir.

razširitvi temperaturnega območja, v katerem je EC pojav največji v primerjavi z nedopiranim PMN-10PT, kar bi lahko bilo primerno za uporabo v hladilni tehniki. PMN-10PT in z manganom dopirani PMN-10PT smo izpostavili sevanju snopa nevtronov in γ -žarkov (10^{16} nevtronov cm^{-2} in 145 kGy ter 10^{17} nevtronov cm^{-2} in 1200 kGy). Sevanje je povzročilo zmanjšanje nasičene polarizacije, povečanje notranjega električnega polja in zmanjšanje EC spremembe temperature vzorcev, dopiranih z manganom, medtem ko so omenjene lastnosti nedopiranega PMN-10PT ostale skoraj nespremenjene. Poslabšanje EC odziva PMN-10PT, dopiranega z manganom, smo pripisali prisotnosti kompleksov akceptor (Mn)-kisikova vrzel in njihovi interakciji s poškodbami, ki jih je povzročilo sevanje. Žarenje pri 450 °C je delno odpravilo spremembe EC odziva PMN-10PT, dopiranega z manganom, ki jih je povzročilo sevanje. Študija je bila objavljena v *Journal of Physics: Energy*.

Kot del tekočih raziskav **nizkodimenzionalnega magnetizma** oksidov prehodnih kovin smo se osredotočili na kemijsko dopiranje stroncij-bakrovega ortoborata, $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$. Raziskali smo substitucijo na A-mestu – z zamenjavo Sr^{2+} z aliovalentnima La^{3+} oziroma Na^+ – kot tudi na B-mestu z uvedbo magnetnega redčenja s substitucijo Mg^{2+} na Cu-mestu. Čeprav so bile dejanske koncentracije dopantov, vključenih v strukturo $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$, nižje od nominalnih vrednosti, smo potrdili, da omenjeni dopanti spremenijo magnetizem matičnega sistema. V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi in z Univerze Tohoku na Japonskem smo izvedli tudi magnetne meritve pri visokih poljih, ki so razkrile dodatno magnetno strukturo, stabilizirano pri visokih magnetnih poljih.



Slika 2: Monokristala $\text{ErTa}_7\text{O}_{19}$ (levo) in $\text{GdTa}_7\text{O}_{19}$ (desno), vzgojena z uporabo metode gojenja monokristalov iz visokotemperaturne raztopine, razvito na K5.

Nadgradili smo tudi raziskave kandidatov **kvantnih spinskih tekočin**. V okviru sodelovanja z Odsekom za fiziko trdne snovi smo raziskovali pripravo monokristalov nekaterih članov serije $\text{RTa}_7\text{O}_{19}$ ($\text{R} = \text{Er}, \text{Gd}$), ki so analogi Isingovemu antiferomagnetu $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$, realiziranem na pravilni trikotni mreži. Z uporabo metode gojenja monokristalov iz visokotemperaturne raztopine smo pred kratkim pripravili monokristala $\text{ErTa}_7\text{O}_{19}$ in $\text{GdTa}_7\text{O}_{19}$. [slika 2]

Poleg tega smo razširili raziskave srebrovih (II) spojin in proučevali nove sisteme, kot sta K/Na/Rb/CsF-AgF_2 in $\text{Bi/YF}_3\text{-AgF}_2$. V sodelovanju z raziskovalci iz Češke smo uspešno določili kristalne strukture novih faz z

uporabo tehnik 3D elektronske difrakcije. Z uporabo nevtronske praškovne difrakcije na Institutu Laue Langevin v Grenoblu v Franciji smo prispevali k razumevanju osnovnega magnetnega stanja teh materialov. Poleg tega smo ponovno raziskali kristalno strukturo monokristalov AgF z visokoločljivostno rentgensko difrakcijo.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi ter s kolegi iz Maroka, Francije, Češke in Ukrajine smo proučili piezoelektrične lastnosti multiferoičnih nanožičk $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-Ba}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.89}\text{Sn}_{0.11}\text{O}_3$. Z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom (PFM) smo analizirali piezoelektrični odziv nanožičke ter določili piezoelektrični koeficient $d_{33} \sim 40$ pm/V posamezne nanožičke, kar smo objavili v *RSC Advances*. Nadalje smo s PFM raziskovali nanodelce $\text{BaTi}_{0.89}\text{Sn}_{0.11}\text{O}_3$ v polimerni matriki. Delci so izkazovali piezoelektrične in feroelektrične lastnosti, polimerna matrika pa samo piezoelektrične. Delo smo objavili v *ACS Applied Nano Materials*.

Odsek K5 sodeluje pri projektu SCUALE (Sustainable Components for Underwater Acoustics using Lead-free materials in Europe). Projekt koordinira Thales in združuje 14 industrijskih partnerjev in raziskovalnih inštitutov iz osmih evropskih držav. Cilj projekta je proučevanje, razvoj in proizvodnja naprednih materialov in komponent brez svinca z izboljšanimi lastnostmi, ki bi nadomestili obstoječe piezoelektrične keramike za vojaške podvodne akustične aplikacije.

V okviru projekta ARIS MISSPES smo v sodelovanju s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani nadaljevali raziskave na področju zaznavanja nevarnih snovi v okolju. Naš cilj je bil zaznati neonikotinoidne pesticide z nizko občutljivostjo in visoko selektivnostjo na kraju samem. Z uporabo nizkotemperaturne sočasno žgane keramike in večplastne keramične tehnologije smo razvili pretočno platformo, ki omogoča integracijo miniaturnega trielektrodnega elektrokemijskega senzorja (ES). Potrdili smo elektrokemijski odziv ES znotraj pretočne platforme, kar kaže na pravilno delovanje elektrokemijske celice.

Nadaljevali smo z raziskavami **debelih plasti z metodo nanosa v aerosolu** v okviru Laboratorija za ultrahladno pripravo kompleksnih oksidov. Sredstva za postavitev laboratorija smo prejeli v okviru projekta Direktorjevega sklada ULTRACOOOL. S kolegi z Inštituta za znanost

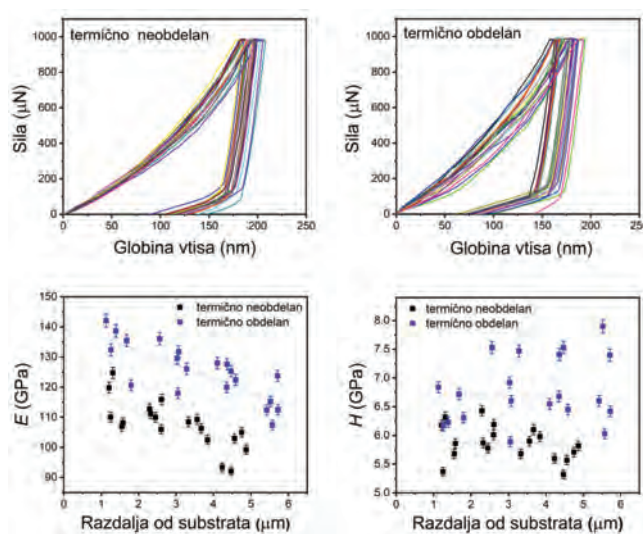
in tehnologijo iz Luksemburga in s sodelavci s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani smo pripravili in okarakterizirali večfunkcijske debele plasti $0.65\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.35\text{PbTiO}_3$ (PMN-35PT) na upogljivih polimernih podlagah. Plasti so izkazovale sposobnost shranjevanja energije, elektrokalorični pojav in piezoelektričnost. Članek je bil vključen v zbirko najbolj priljubljenih člankov *Journal of Materials Chemistry C*, objavljenih v letu 2023.

Izboljšanje električnih in elektromehanskih lastnosti elektromehansko aktivnih debelih plasti, pripravljenih z metodo nanosa v aerosolu, pogosto dosežemo z dodatno toplotno obdelavo. Raziskovali smo vpliv dodatnega segrevanja debelih plasti $0.9\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.1\text{PbTiO}_3$ na zraku na mikrostrukturo in mehanske lastnosti. Pokazali smo, da se z dodatnim segrevanjem mikrostruktura zelo malo spremeni, medtem ko se mehanske lastnosti plasti, tj. trdnost in Youngov modul, opazno povejšajo v primerjavi s plastmi, ki jih nismo dodatno segrevali. [slika 3]

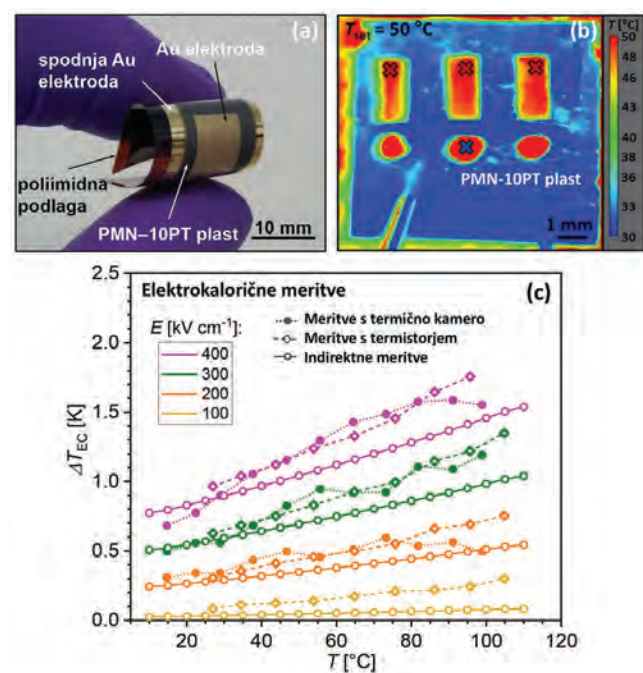
S sodelavci z Inštituta za znanost in tehnologijo iz Luksemburga smo pripravili debeloplastne strukture na osnovi $0.9\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.1\text{PbTiO}_3$ (PMN-10PT) z visokim elektrokaloričnim (EC) pojavom. Pri sobni temperaturi smo opazili najvišjo EC temperaturno spremembo $1,5^\circ\text{C}$ pri električnem polju 600 kV/cm , medtem ko je bila pri temperaturi 100°C EC temperaturna sprememba $2,4^\circ\text{C}$. Tako izjemen EC odziv debeloplastnih struktur smo dosegli z nanosom funkcijske plasti na toplotno izolativno polimerno podlago. [slika 4] Funkcijsko plast smo namreč pripravili z metodo nanosa v aerosolu, ki omogoča ustvarjanje gostih keramičnih plasti že pri sobni temperaturi, kar je združljivo z nizko temperaturo tališča polimernih podlag. Rezultate smo objavili v reviji *Small Methods*.

V sodelovanju s Colorado School of Mines iz ZDA smo pripravili kompozitne debele plasti $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$. Plasti smo pripravili z metodo nanosa v aerosolu, ki omogoča nanašanje dveh prahov istočasno. Plasti s 27 vol% aluminija so izkazovale osemkrat višjo dielektričnost v primerjavi s plastmi brez aluminija, tj. 800 proti 12, vendar pa so se za približno petkrat povešale tudi dielektrične izgube. S pomočjo meritev dielektričnosti, modeliranja in lokalnih meritev električne prevodnosti z mikroskopom na atomsko silo smo določili, da je meja perkolativnosti približno pri 27 vol% vsebnosti aluminija v korundni keramični matrici.

Razvoj feroelektrične keramike po postopku hladnega sintranja je potekal prek optimizacije parametrov hladnega sintranja keramike na osnovi BiFeO_3 in $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$, predvsem z optimizacijo količine in sestave tekočin, ki jih dodamo prahom za uspešno sintranje materialov. Električne in elektromehanske lastnosti hladno sintrane feroelektrične keramike kažejo velik potencial za pretvorbo energije in za shranjevanje energije, saj izkazujejo visoko dielektrično prebojno trdnost in nizke dielektrične izgube. Vzrok za te lastnosti pripisujemo posebni mikrostrukturi hladno sintranih materialov, ki jo povzroča proces raztapljanja pod vplivom tlaka, kar smo proučevali z vrstično presežno elektronsko mikroskopijo. [slika 5] Strukturne posebnosti hladno sintranih perovskitov vključujejo močno pojedkane meje med zrnji z njihovo interpenetracijo, napake kristalne mreže (tj. upogibanje mreže, robne in vijačne dislokacije in druge napake), dinamično stabilen preplet kanalov odprte poroznosti, zaprte pore nanometrskih velikosti, ki so povezane z mrežnimi defekti, možna neželena nanokristalna zrna in spremenjena oksidacijska stanja kovinskih ionov, verjetno zaradi redukcije. Medtem ko sta glavni prednosti razvoja hladnega sintranja prihranek energije zaradi nizkotemperaturne obdelave in združevanje kemijsko različnih materialov v kompozite, ozko grlo metode pri pripravi vzorcev elektronske keramike cm-velikosti ostaja pokanje, ki ga povzroči pritisk med sintranjem, in občutljivost vzorcev na vlago. Zaradi teh primanjkljajev sta potrebna boljše razumevanje in nadaljnji razvoj metode hladnega sintranja, zato se naše študije nadaljujejo tudi v prihodnje.

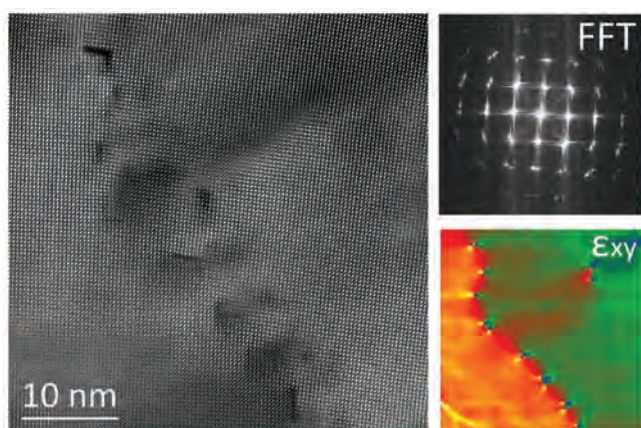


Slika 3: Krivulje sile v odvisnosti od globine vtisa debelih plasti PMN-PT, pripravljenih z metodo nanosa v aerosolu in po dodatnem segrevanju pomejene z in situ nanoindentacijskim sistemom v vrstičnem elektronskem mikroskopu. Youngov modul (E) in trdnost (H) plasti sta izrisana v odvisnosti od oddaljenosti od podlage. Merska negotovost je bila določena na osnovi meritev standarda taljenega kremena.



Slika 4: (a) Elektrokalorična debela plast PMN-10PT, pripravljena z metodo nanosa v aerosolu na upogljivi polimerni podlagi. (b) Pogled na debelo plast PMN-10PT s toplotno kamero. (c) Elektrokalorična temperaturna sprememba plasti v odvisnosti od zunanje temperature. Elektrokalorične meritve smo izvedli s tremi metodami.

Projekt MSCA-IF QMatCh, ki ga vodi Mirela Dragomir, je bil izpostavljen kot uspešna zgodba v sklopu navdihujočih zgodb v okviru širitve držav MSCA.



Slika 5: Nabor dislokacij v kristalni mreži zrna feroelektrične keramike $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$, deformirane med postopkom hladnega sintranja, opazovano z vrstično presežno elektronsko mikroskopijo. Na desni strani sta prikazani Fourierjeva transformacija (FFT) in geometrijska fazna analiza slike z atomsko ločljivostjo, ki prikazujeta deformacijo oziroma napetosti v kristalni mreži.

V sodelovanju s sodelavci z Inštituta za znanost in tehnologijo iz Luksemburga smo s **sitotiskom** pripravili debele plasti na osnovi $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT). Piezoelektrična struktura na korundni podlagi je izkazovala dobre lastnosti za učinkovit haptični aktuator. Pri zaznavanju dotika ($1\ \mu m$ odstopanja z ravnine) naprava porabi le 5 mW moči pri unipolarni napetosti 20 V. Pri unipolarni napetosti 150 V je odstopanje z ravnine skoraj $10\ \mu m$. Študija je bila objavljena v reviji *Sensors and Actuators: A. Physical*.

V sodelovanju s Kemijskim inštitutom v Ljubljani in RC eNeM smo raziskovali integracijo prosojne elektronike na industrijski stekleni izdelek za naslednjo generacijo prozorne elektronike. Osredotočili smo se na razvoj stroškovno učinkovite, okolju prijazne priprave tankih plasti iz raztopin v industrijskem okolju. Z uporabo nestrupeh topil na osnovi alkohola smo na steklo uspešno nanесли prozorne tanke plasti z galijem dopiranega cinkovega oksida in indijevega-cinkovega oksida (IZO). Plasti po žganju pri $600\ ^\circ C$ na zraku ne kažejo urejanja dolgega reda, imajo homogeno mikrostrukturo in gladko površino, vendar visoko električno upornost. Plastna upornost se zniža na nekaj sto Ω/sq po popuščanju v atmosferi Ar/H_2 . Omenjene lastnosti plasti so zelo obetavne za uporabo v prozorni elektroniki.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Prah, Uroš, Šadl, Matej, Torello, Alvar, Lheritier, Pierre, Kovacova, Veronika, Uršič Nemevšek, Hana, Defay, Emmanuel, Direct electrocaloric characterization of ceramic films, *Small methods*, 2023, 7, 9, 2300212, DOI: 10.1002/smt.202300212
2. Stojanoska, Izabela, Okorn, Miha, Kmet, Brigita, Uršič Nemevšek, Hana, Gradišnik, Vera, Čakara, Duško, Kovač, Janez, Kušcer, Danjela, Indium-zinc-oxide thin films produced by low-cost chemical solution deposition: Tuning the microstructure, optical and electrical properties with the processing conditions, *Heliyon*, 2023, 9, 9, e19744, DOI: doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19744
3. Salmanov, Samir, Koblar, Maja, Kmet, Brigita, Malič, Barbara, Rojac, Tadej, Kušcer, Danjela, Otoničar, Mojca, Structure and electrical properties of cold-sintered strontium-doped potassium sodium niobate, *Journal of the European ceramic society*, 2023, 43, 16, 7516-7523, DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.07.069
4. Sarkar, Ankita, Šadl, Matej, Jazbec, Anže, Snoj, Luka, Drnovšek, Silvo, Rojac, Tadej, Brennecke, Geoff, Uršič Nemevšek, Hana, Malič, Barbara, Influence of neutron and gamma irradiation on the electrocaloric properties of Mn-doped $0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0.1PbTiO_3$ ceramics, *JPhys energy*, 2023, 5, 4, 045006, DOI: 10.1088/2515-7655/acf61b
5. Rojac, Tadej, Piezoelectric response of disordered lead-based relaxor ferroelectrics, *Communications materials*, 2023, 4, 12, DOI: 10.1038/s43246-023-00336-9
6. Condurache, Oana, Dražić, Goran, Rojac, Tadej, Uršič Nemevšek, Hana, Dkhil, Brahim, Bradeško, Andraž, Damjanović, Dragan, Benčan, Andreja, Atomic-level response of the domain walls in bismuth ferrite in a subcoercive-field regime, *Nano letters*, 2023, 23, 2, 750-756, DOI: 10.1021/acs.nanolett.2c02857

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. MIDEM 2023: 58. mednarodna konferenca o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih z delavnico: Kemijski senzorji, materiali in aplikacije, Lipica, 27.-29. 9. 2023

Nagrade in priznanja

1. Barbara Repič, študentska nagrada Alessandro de Vita na čezmejni delavnici doktorskih študentov s področja nanoznanosti in nanotehnologije CrossNano 2023, organizacijski odbor CrossNano 2023
2. Mirela Dragomir, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, nagrada Edward C. Henry Award za izjemni prispevek, objavljen v reviji *Journal of the American Ceramic Society*, odbor za nagrade in štipendije pri reviji *Journal of the American Ceramic Society*

MEDNARODNI PROJEKTI

- Laboratorijske meritve
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Barbara Malič
- Laboratorijske meritve za TDK
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Laboratorijske meritve
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Analize s segrevalnim mikroskopom
Lithoz GmbH
prof. dr. Barbara Malič
- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Barbara Malič
- H2020 - QMatCh; Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji
European Commission
doc. dr. Mirela Dragomir
- In-situ študije dinamičnih procesov v keramičnih oksidih v redukcijskem okolju presevnega elektronskega mikroskopa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- ABO₃ perovskitna feroelektrična keramika za bodoče senzorje, aktuatorje in hladilne sisteme na osnovi trdne snovi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Nizkotemperaturna priprava piezoelektričnih debelih plasti za medicinsko diagnostiko in zbiralnike energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Feroelektrični in antiferoelektrični keramični materiali
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Gojenje monokristalov in raziskave nizkodimenzionalnih kvantnih magnetov pod visokimi tlaki
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Mirela Dragomir
- EDF; SCUALE - Trajnostne komponente za podvodno akustiko z uporabo materialov brez svinca v Evropi
European Commission
prof. dr. Barbara Malič
- TCCbuilder: odprtokodno simulacijsko orodje za toplotne tokokroge
prof. dr. Barbara Malič
- Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluorido argentatih(II)
doc. dr. Mirela Dragomir
- Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Hladno sintranje multifunkcijskih elektronskih komponent
doc. dr. Mojca Otoničar
- Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Tadej Rojac
- Določevanje struktur spojin žlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
doc. dr. Mirela Dragomir
- Več-kalorični elementi za okolju prijazne hladilne sisteme
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Visokotlačna stabilizacija in fazni prehodi zmuzljivih fluoridov prehodnih kovin
doc. dr. Mirela Dragomir
- Povečan piezoelektrični odziv relaksorske feroelektrične keramike s strukturnim neredom
prof. dr. Tadej Rojac
- Mikrofluidni Senzorski Sistem za zaznavanje Pesticidov (MISS PES)
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin
- Upogljivi elementi z multi-fizikalnimi lastnostmi
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Antiferoelektrični materiali za hladilne in energetske elektronske aplikacije
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Anizotropen kvantni magnetizem novih materialov z redkimi zemljami
doc. dr. Mirela Dragomir
- Vpliv dislokacij induciranih s hladnim sintranjem na feroelektrično polarizacijo
doc. dr. Mojca Otoničar
- Procesna intenzifikacija kontinuirne sinteze vodikovega peroksida visoke čistosti z uporabo elektrokatalitskega mikroreaktorja
prof. dr. Barbara Malič
- Napredni materiali in tehnologije za trajnostno tiskano elektroniko na steklu
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin
- Cool BatMan: Sistem za toplotno upravljanje baterij na osnovi digitalnega mikrofluidnega magnetnokaloričnega hlajenja
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Manjše storitve - tuji naročniki
prof. dr. Barbara Malič

PROGRAM

- Multifunkcijski materiali in naprave: od kvantnega do makro nivoja
prof. dr. Barbara Malič

PROJEKTI

- In situ kvantitativna vrstična presečna elektronska mikroskopija funkcijskih materialov na atomski ravni
prof. dr. Andreja Benčan Golob

OBISKI

- Katarina Lubina, Josip Juraj Strossmayer, Univerza v Osijeku, Osijek, Hrvaška, 8. 1. 2023–8. 4. 2023
- dr. Jurij Koruza, Tehnična univerza Gradec, Gradec, Avstrija, 16. 1. 2023
- Antonio Bartošak, Univerza v Bjelovarju, Bjelovar, Hrvaška, 23. 1. 2023–22. 4. 2023
- Lovro Pečur, Univerza v Bjelovarju, Bjelovar, Hrvaška, 23. 1. 2023–22. 4. 2023
- prof. Dragan Damjanovic, Lausanne, Švica, 30. 1. 2023–10. 2. 2023
- Enrico Maradei, Univerza v Bologni, Bologna, Italija, 1. 3. 2023–1. 6. 2023
- Meryem Lachhab, Univerza v Limoges, Limoges, Francija, 3. 3. 2023–3. 6. 2023
- Paul Derkinderen, IUT de Blois, Blois, Francija, 3. 4. 2023–16. 6. 2023
- Any Geairon, Univerza Orléans, Orléans, Francija, 1. 4. 2023–1. 7. 2023
- Luka Nunar, University College London, London, Velika Britanija, 3.–21. 4. 2023
- prof. dr. Andreas Klein, Tehnična univerza Darmstadt, 11.–13. 4. 2023
- dr. Shuang Gao, Tehnična univerza Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 15.–22. 4. 2023
- Floryne Brosse, Univerza Tours, Tours, Francija, 11. 4. 2023–23. 6. 2023
- prof. dr. Alp Sehirlioglu, Univerza Case Western Reserve, Cleveland, Ohio, ZDA, 19.–21. 4. 2023
- Gabriel Burghgrave, INETUM Lille, Lille, Francija, 22. 5. 2023–25. 8. 2023
- prof. dr. Vera Gradišnik, Univerza na Reki, Reka, Hrvaška, 5.–16. 6. 2023
- Matthieu Laloyer, Clermont Auvergne INP, Aubriere, Francija, 5. 6. 2023–15. 9. 2023
- prof. dr. Franck Levassort, Univerza Tours, Tours, Francija, 8.–9. 6. 2023
- Iana Deldicque, Dassault Aviation, Pariz, Francija, 1. 7. 2023–30. 9. 2023
- Alexandre Sierk, CFA SUP Nouvelle-Aquitaine, Chasseneuil du Poitou, Francija, 3. 7. 2023–22. 9. 2023
- prof. Brahim Dkhil, CentraleSupélec, Pariz, Francija, 23.–25. 8. 2023
- prof. dr. Tileli Vasiliki, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Švica, 28.–30. 8. 2023
- Aikaterini Spanou, Univerza na Kreti, Kreta, Grčija, 1. 10. 2023–31. 12. 2023
- prof. dr. Andrew J. Bell, Univerza Leeds, Leeds, Velika Britanija, 16. 10. 2023–20. 10. 2023
- dr. Soukaina Merselmiz: Priprava večfunkcijske keramike brez svinca za shranjevanje energije, elektrokalične in piezoelektrične aplikacije, 11. 1. 2023

VEČJI NOVI POGODBENI DELI

- Sofinanciranje L2-4469 „Napredni materiali in tehnologije za trajnostno tiskano elektroniko na steklu
Razvojni center eNeM Novi Materiali, d. o. o.
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin
- Razvoj mikrostrukture neporozne volumenske keramike s posebnimi lastnostmi za potencialno uporabo v LTCC strukturah, razvoj in preučevanje materialov za uporabo v gorivnih celicah ter eletrolizatorjih
Keko – Oprema, d. o. o., Žužemberk
prof. dr. Barbara Malič

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- dr. Soukaina Merselmiz: Priprava večfunkcijske keramike brez svinca za shranjevanje energije, elektrokalične in piezoelektrične aplikacije, 11. 1. 2023

- dr. Andraž Bradeško: Večfunkcijski materiali: od volumenske keramike do tankih kovinskih plasti, 20. 3. 2023
- Ivana Goričan: Multifunkcijski keramični materiali za prihodnje tehnologije hlajenja in shranjevanja energije, 30. 3. 2023
- dr. Aleksander Mataž (F5): Senzorji hlapnih organskih spojin na osnovi nanoporoznih tankih filmov, 6. 4. 2023
- prof. dr. Andreas Klein, Tehnična univerza Darmstadt, Darmstadt, Nemčija: Koliko polprevodni so (anti)feroelektrični materiali?, 12. 4. 2023
- dr. Shuang Gao, Tehnična univerza Darmstadt, Nemčija: Funkcionalni precipitanti in dislokacije v keramiki, 14. 4. 2023
- Blaž Velkavrh: Tekočinska toplotna stikala na osnovi elektroosmočenja za uporabo v magnetokaloričnem hlajenju, 20. 4. 2023
- prof. dr. Alp Sehirlioglu, Univerza Case Western Reserve, Cleveland, Ohio, ZDA: V iskanju visoko temperaturnih feroelektričnih perovskitov, 20. 4. 2023
- Barbara Repič: Debele plasti ogljika na aluminijevem oksidu za elektrokemijsko detekcijo neonikotinoidov, 11. 5. 2023
- doc. dr. Mirela Dragomir: Rigaku MiniFlex namizni praškovni difraktometer na K5, 19. 5. 2023
- dr. Aadil Abass Shah: Čiščenje odpadnih voda s polprevodniškimi fotokatalizatorji, 25. 5. 2023
- prof. dr. Franck Levassort, Univerza Tours, Tours, Francija: Visokofrekvenčni ultrazvočni pretvorniki na osnovi P(VDF-TrFE) za vizualizacijo struktur, 9. 6. 2023
- prof. dr. Vera Gradišnik, Univerza na Reki, Reka, Hrvaška: Vpliv modre svetlobe na dolgotrajni tokovni odziv a-Si:H fotodiode, 15. 6. 2023
- Oana-Andreea Condurache: Presečna elektronska mikroskopija domenskih sten na atomski ravni in njihov in situ dinamični odziv na električno polje v feroelektrikih brez svinca, 29. 6. 2023
- prof. Vasiliki Tileli, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Švica: In situ dinamični odziv feroelektrikov na električno polje, 30. 8. 2023
- dr. Alaka Panda: Uvod v Mössbauerjevo spektroskopijo in študij nastanka faz na osnovi bizmuta, 21. 9. 2023
- prof. dr. Andrew J. Bell, Univerza Leeds, Leeds, Velika Britanija: Znotraj piezoelektričnosti: strukturni izvor elektromehanske sklopitve, 19. 10. 2023
- doc. dr. Mojca Otoničar: Defekti v feroelektrikih kot posledica raztapljanja pod vplivom tlaka, 9. 11. 2023
- dr. Soukaina Merselmiz: Debele plasti Ba(Zr,Ti)O₃-(Ba,Ca)TiO₃, pripravljene z nanosom v aerosolu, 14. 12. 2023
- Maja Koblar: Osnove električnih meritev in kaj lahko merimo s sistemom ProboStat podjetja Norecs, 21. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Matic Belak, Ivana Goričan, Meryem Lachhab, Victor Regis de Moraes, Barbara Repič, Matej Šadl, Samir Salmanov, Blaž Velkavrh, 15. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, 31. 5.-2. 6. 2023

- Matic Belak, Mirela Dragomir, 29. slovensko-hrvaško kristalografsko srečanje, Topolšica, 14.-18. 6. 2023 (2)
- Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, Lia Šibav, Slovenski kemijski dnevi 2023, Portorož, 13.-15. 9. 2023 (3)
- Andreja Benčan, Oana-Andreea Condurache, Mojca Otoničar, Katarina Žiberna, AdSTEM 2023, Piran, 15.-17. 5. 2023 (4)
- Andreja Benčan, Oana-Andreea Condurache, Antonio Iacomini, Sabi W. Konsago, Barbara Malič, Victor Regis de Moraes, Ankita Sarkar, Katarina Žiberna, XVIIIth ECERS conference: Conference & Exhibition of the European Ceramic Society (ECERS 2023), Lyon, Francija, 2.-6. 7. 2023 (8)
- Izabela Čurković, Ivana Goričan, Sabi W. Konsago, Barbara Malič, Soukaina Merselmiz, Victor Regis de Moraes, Barbara Repič, Ankita Sarkar, Matej Šadl, 58. mednarodna konferenca o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih z delavnico: Kemijski senzorji, materiali in aplikacije (MIDEM 2023), Lipica, 27.-29. 9. 2023
- Mirela Dragomir, Solid-State Science & Research (SCIRES 2023), 28.-30. junij 2023 (1)
- Mirela Dragomir, Lia Šibav, 18th European Conference on Solid State Chemistry, Praga, Češka republika, 9.-12. 7. 2023 (2)
- Mirela Dragomir, 26th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Melbourne, Avstralija, 24.-29. 7. 2023 (1)
- Ivana Goričan, Barbara Repič, Tadej Rojac, 15th ECERS Conference for Young Scientists in Ceramics, Novi Sad, Srbija, 11.-14. oktober 2023 (3)
- Antonio Iacomini, Katarina Žiberna, WE-Heraeus-Seminar, Bad Honeef, Nemčija, 22.-24. 5. 2023 (2)
- Antonio Iacomini, IEEE ISAF 2023, Cleveland, Ohio, ZDA, 22.-30. 7. 2023
- Danijela Kuščer, E-MRS 2023 Spring Meeting, Strassbourg, Francija, 22. 5.-2. 6. 2023 (1)
- Barbara Malič, 2023 MRS Spring Meeting & Exhibition (virtualno), 10.-14. 4. 2023 (1)
- Barbara Malič, 1st ACDC 2023 CroCERS Conference 2023, Dubrovnik, Hrvaška, 26.-29. 4. 2023 (1)
- Maja Koblar, 66th Annual Society of Vacuum Coaters Technical Conference, Washington, ZDA, 6.-13. 5. 2023 (1)
- Sabi W. Konsago, 7th International School of Oxide Electronics (ISOE2023), Cargese, Italija, 29. 8.-8. 9. 2023 (1)
- Danijela Kuščer, Barbara Repič, Katarina Žiberna, CrossNanno 2023, Trst, Italija, 21.-23. 2. 2023 (2)
- Danijela Kuščer, Tadej Rojac, Electroceramics for End Users XII: PIEZO2023 with Ferroelectrics UK, Glasgow, Velika Britanija, 5.-8. 11. 2023 (2)
- Matej Šadl, Hana Uršič (virtualno), Basic Science and Electronic Materials Meeting (EMA 2023), Orlando, Florida, 17.-20. 1. 2023 (2)
- Lia Šibav, International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE20), Neapelj, Italija, 30. 7.-4. 8. 2023 (1)
- Barbara Malič, Fermi Level Engineering of Antiferroelectrics and Beyond: International Workshop, Heidelberg, Nemčija, 12.-16. 3. 2023 (1)
- Barbara Malič, MRS Spring Meeting, San Francisco, ZDA, 10.-15. 4. 2023 (1)
- Mojca Otoničar, The 15th International Meeting on Ferroelectricity (IMF 2023), Tel Aviv, Izrael, 26.-30. 3. 2023 (1)
- Mojca Otoničar, E-MRS Fall Meeting, Varšava, Poljska, 17.-19. 9. 2023 (1)
- Samir Salmanov, 3rd YCN Workshop, Aveiro, Portugalska, 19.-21. 4. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

- prof. dr. Andreja Benčan Golob, znanstvena svetnica
- dr. Andraž Bradeško*
- doc. dr. Mirela Dragomir
- prof. dr. Goran Dražič*, znanstveni svetnik
- prof. dr. Danijela Kuščer Hrovatin
- dr. Kostja Makarovič*
- prof. dr. Barbara Malič, znanstvena svetnica - vodja odseka**
- doc. dr. Mojca Otoničar
- prof. dr. Tadej Rojac, znanstveni svetnik
- prof. dr. Hana Uršič Nemevšek

Podoktorski sodelavci

- Antonio Iacomini, PhD., Italija
- Soukaina Merselmiz, PhD., Maroko
- Alaka Panda, PhD., Indija
- Ankita Sarkar, MSc., Indija
- Aadil Abass Shah, PhD., Indija
- dr. Matej Šadl

Mlajši raziskovalci

- Matic Belak Vivod, mag. kem.
- dr. Oana Andreea Condurache, odšla 1. 11. 2023*
- Ivana Goričan, mag. kem.
- Maja Koblar, mag. nan.
- Sabi William Konsago, MSc., Rusija
- Victor Regis De Moraes, MSc., Brazilija
- Barbara Repič, mag. inž. kem. inž.

- Samir Salmanov, MSc., Rusija
- Lia Šibav, mag. kem.
- Blaž Velkavrh, mag. inž. str.
- Katarina Žiberna, mag. kem.

Strokovni sodelavci

- Izabela Čurković, mag. kem.
- Silvo Drnovšek, dipl. inž. kem. tehnol.
- Brigita Kmet, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

- Andrej Debevec
- Tina Ručigaj Korošec, univ. dipl. soc.

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- Alexandru Ioan Cuza University (A. I. Cuza), Dielectric, Ferroelectric and Multiferroic Materials Department, Iași, Romunija
- Associazione Festival della Scienza, Genova, Italija
- BioSense Institute, Novi Sad, Srbija
- Biosistemika, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
- Center odličnosti NAMASTE, Ljubljana, Slovenija
- Center odličnosti VESOLJE, Ljubljana, Slovenija
- Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija
- Colorado School of Mines, Golden, Colorado, ZDA
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Švica
- European Organization for Nuclear Research CERN, Zeneva, Švica

11. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
12. Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija
13. Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik – Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija
14. Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Odsek za nauku o materijalima (IMSI UB), Beograd, Srbija
15. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
16. Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
17. Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Science, Budimpešta, Madžarska
18. Institute of Physics of the Czech Academy of Science, Praga, Češka
19. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska
20. KEKO – Oprema, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
21. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
22. Lotrič Meroslovje, d. o. o., Selca, Slovenija
23. Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Luksemburg, Luksemburg
24. Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija
25. McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada
26. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
27. Meggitt Sensing Systems, Meggitt A/S, Kvistgård, Danska
28. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
29. Murata Manufacturing Co., Ltd, Kyoto, Japonska
30. National Institute of Materials Physics, Magurele, Romunija
31. North Carolina State University (NCSU), Materials Science and Engineering Department, Raleigh, Severna Karolina, ZDA
32. Norwegian University of Science and Tehnology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering, Trondheim, Norveška
33. Osaka Prefecture University – Graduate School of Engineering, Department of Physics and Electronics, Osaka, Japonska
34. Penn State University, Materials Research Center, State College, Pensilvanija, ZDA
35. RC eNeM, d. o. o., Zagorje ob Savi, Slovenija
36. Shanghai University, Department of Electronic Information Materials, Šanghaj, Kitajska
37. Shizuoka University, Research Institute of Electronics, Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology, Hamamatsu, Japonska
38. Steklarna Hrastnik, Hrastnik, Slovenija
39. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
40. Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby, Danska
41. Technische Universität Darmstadt (TUdA), Darmstadt, Nemčija
42. Tsinghua University, School of Materials Science and Engineering, Peking, Kitajska
43. Université François-Rabelais Tours, Greman CNRS, Tours, Francija
44. University of Aveiro (UA), Aveiro, Portugalska
45. University of Latvia, Institute of Solid State Physics, Riga, Latvija
46. University of New South Wales, Sydney, Avstralija
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
49. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
50. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje, Nova Gorica, Slovenija

Raziskave in razvoj na Odseku za nanostrukturne materiale so osredotočeni na vodilna področja nanotehnologije in naprednih materialov za reševanje najzahtevnejših družbenih izzivov, s katerimi se Evropa in svet trenutno spopadata. Slednje vključuje razvoj materialov in tehnologij za učinkovito rabo zelene energije in kritičnih surovin, zdravje ter okolje. Interdisciplinarnost raziskovalne skupine odseka s komplementarnimi bazičnimi in aplikativnimi znanji v kombinaciji z najsodobnejšimi raziskovalnimi metodami omogoča, da se lahko hitro odzovemo na številne nastale družbene izzive. Temeljne in aplikativne raziskave na Odseku za nanostrukturne materiale vključujejo raziskave in razvoj na področju magnetov in intermetalnih zlitin, inženirske in funkcijske keramike, mineralov, senzorjev, materialov za trajnostno in ekološko grajeno okolje ter biomimetske in biomateriale.

Magnetni materiali

Skupina za magnetne materiale tako naslavlja najbolj pereče evropske socialne izzive, ki so tesno povezani s cilji Evropskega zelenega dogovora in Akta o kritičnih surovinah. Prispevati želimo k podnebni nevtralnosti z razvojem z viri gospodarne in okolju prijazne e-mobilnosti ter zelene proizvodnje energije. Hkrati spodbujamo boljšo krožno ekonomijo pri uporabi materialov z njihovim recikliranjem, kar vodi k zmanjšani odvisnosti EU od uvoza kritičnih surovin. Za EU so še posebej skrb vzbujajoči trajni magneti na osnovi redkih zemelj (Nd-Fe-B, Sm-Co), ki se ponašajo z največjo zmogljivostjo in najvišjim energijskim produktom. Zato so neobhodni v električni mobilnosti in za proizvodnjo zelene elektrike v vetrnih turbinah. V ta namen snujemo rešitve glede zasnove, proizvodnje in uporabe trajnih magnetov z izboljšanimi magnetnimi lastnostmi in učinkovito uporabo materialnih virov. S svojim delom, ki je povzeto v segmentih spodaj, si prizadevamo razviti znanje in ponuditi nove rešitve, ki bodo prispevale k bolj trajnostni in neodvisni prihodnosti Evrope in širše.

Modeliranje naprednih magnetnih naprav – eden od alternativnih pristopov k zmanjšanju porabe kritičnih materialov redkih zemelj v trajnih magnetih je optimizacija geometrije slednjih za specifične aplikacije, kot je na primer magnetni pretvornik ali t. i. žetvenik energije. Ta pretvarja mehansko delo v električno energijo in omogoča napajanje npr. pametnega telefona brez uporabe zunanjega vira energije. Predlagani koncept temelji na uporabi magnetov manjših volumnov in bolj kompleksnih oblik. Z modeliranjem prek metode končnih elementov smo oblikovali dve novi obliki trajnih magnetov za namene magnetnega žetvenika. Optimizacija dimenzijskih parametrov je pokazala, da sta predlagani rešitvi učinkovitejši od obstoječih standardnih izvedb. Shematski prikaz pretvorbe mehanske energije med gibanjem človeka za napajanje pametnih naprav in skonstruiran magnetni žetvenik je prikazan na sliki 1. Rezultati raziskave so bili objavljeni v reviji *Materials and Technology* v članku Optimum design of a permanent-magnet-based self-charging device for a smartphone (<https://doi.org/10.17222/mit.2023.968>).

Hitra konsolidacija trajnih magnetov – v okviru projekta ARIS Z2-2645 (<https://www.ijs.si/ijsw/ARRSProjekti/2020/Z2-2645>) smo nadaljevali razvoj strategije hitre konsolidacije, ki zajema zgoščevanje in sintranje prahov v magnetne tipa Nd-Fe-B prek intenzivnega toplotnega sevanja. Sintranje poteka v prirejeni konvencionalni peči Spark Plasma Sintering (SPS), tj. z enosnim pritiskom v pulzirajočem enosmernem toku in vakuumu, ki omogoča hitro in učinkovito segrevanje. Prireditev peči omogoča, da se med t. i. radiacijskim sintranjem na magnetno usmerjen zelenec ne izvaja noben pritisk. Slednje je odločujočega pomena pri ohranitvi kristalografske teksture in posledično magnetne anizotropije v končnem magnetu, kar omogoča višje vrednosti remanentne magnetizacije (B_r) in visoke energijske produkte (BH_{max}). Vzorci pa izkazujejo koercitivnosti (H_c), primerljive z magneti, pripravljenimi na konvencionalni način. Nova strategija radiacijskega sintranja omogoča zgoščevanje standardnih prahov Nd-Fe-B v zgolj 10 minutah. Kratki ogrevalni cikli za red velikosti zmanjšujejo porabo energije, potrebno za pripravo magnetov Nd-Fe-B, v primerjavi s počasnimi, večurnimi, običajnimi strategijami sintranja.



Vodja:

prof. dr. Sašo Šturm

Evropa je gonilna sila Zelenega prehoda, katerega uspeh temelji na trajnostnih energetske in mobilnostnih rešitvah.



Slika 1: Shematski prikaz pretvorbe mehanske energije med gibanjem človeka (levo, sredina) za napajanje pametnih naprav in skonstruiran magnetni žetvenik (desno)

V letu 2023 smo zaključili projekt v shemi EIT RAW Materials 21043 RECO2MAG (<https://reco2mag.rgf.bg.ac.rs/>), katerega primarni cilj je bilo sodelovanje z industrijo, tj. Magneti Ljubljana, d. d., pri razvoju Nd-Fe-B trajnih magnetov ter z dodatki NdH_3 in DyF_3 izboljšali lastnosti magnetov oziroma magnetnih razredov (kot je poimenovanje v industriji) iz N38M na N48M ($B_r = 1.2\text{T} \rightarrow 1.4\text{T}$). Hkrati smo povečali koercitivnost iz razreda M do UH ($1200\text{ kA/m (M)} \rightarrow 1600\text{ kA/m (SH)} \rightarrow 1800\text{ kA/m (UH)}$). Uspešno smo implementirali tudi metodo elektroforetskega nanašanja težkih redkih zemelj na industrijsko proizvedene magnetne in z naknadnim postopkom difuzije težke redke zemlje po mejah med zrni dosegli povečanje koercitivnosti s 1100 kA/m (M) na 1750 kA/m (SH) .

V letu 2023 smo nadaljevali raziskave v okviru projekta EIT RAW Materials INSPIRES (<https://inspires-magnet.eu/>). Projekt je bil osredotočen na recikiranje in procesiranje trajnih magnetov Nd-Fe-B. Izvedli smo mletje z vodikom obdelanih magnetnih odpadkov, ki smo jih prejeli z Univerze Pforzheim, čemur so sledili poskusi sintranja, ki so vključevali dodatke DyF_3 in NdH_3 . Uporabljene so bile tako običajne kot hitre metode konsolidacije, pri čemer je radiacijsko sintranje rezultiralo v 30 % povečanju koercitivnosti na $\sim 1300\text{ kA/m}$ v primerjavi s konvencionalnimi metodami. S procesom z uporabo vodika smo uspešno reciklirali 10 kg odpadnih magnetov. Izdelali smo prahove s koercitivnostjo $H_{ci} = 600\text{ kA/m}$ in remanentno magnetizacijo $B_r = 0,75\text{ T}$, ki so primerni za uporabo v magnetnih senzorjih. Slednje bomo pri industrijskem partnerju Kolektor KFH nadalje predelali v vezane magnetne.

Krojenje magnetnih lastnosti trajnih magnetov na ravni posameznih zrn – v okviru projekta MSCA PF OCARINA (<https://cordis.europa.eu/project/id/101024046>) smo podali smernice za razvoj novih trajnih magnetov tipa Nd-Fe-B s krojenjem magnetnih lastnosti na ravni posameznih zrn. Strategija vključuje pripravo vhodnega materiala, na katerem se z dodatkom faz gradi nova mikrostruktura magnetov. Vhodni material mora tako biti monokristalen oziroma enozrnat in temeljiti izključno na matrični fazi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Monokristalno fazo $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ smo pridobili z okolju prijaznim kemijskim jedkanjem z organsko kislino. Slednji proces je selektiven in ohranja magnetne lastnosti matrične faze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, hkrati pa uspešno odstrani medzrnsko fazo, bogato z Nd. Metoda je dokazano uporabna tako na svežih kot recikliranih materialih.

Delo je bilo objavljeno v reviji *MDPI Materials* v dveh rokopisih: *Environmentally friendly approach for $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ magnetic phase extraction by selective chemical leaching: a proof-of-concept study* (<https://doi.org/10.3390/ma16145181>) in *Short-loop recycling of Nd-Fe-B permanent magnets: a sustainable solution for the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ matrix phase recovery* (<https://doi.org/10.3390/ma16196565>).



Slika 2: Shematski prikaz novega pristopa selektivnega kemijskega jedkanja, ki vključuje pripravo vhodnega materiala za nove magnetne, ki je monokristalen in temelji zgolj na matrični fazi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, brez prisotnosti medzrnskih faz

Naše raziskave v okviru projekta Horizon EU 101058598 – REEsilience (<https://reesilience.eu/>) so bile v letu 2023 usmerjene v razvoj novih trajnih magnetov tipa Nd-Fe-B s krojenjem magnetnih lastnosti na ravni posameznih zrn. Slednja smo pridobili prek metode selektivnega kemijskega jedkanja, omenjene zgoraj. Z dodatkom nizkoevtektivne zlitine Nd-Cu med 0–30 ut. % k monokristalni matrični fazi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ smo uvedli novo kovinsko fazo na meje med zrni. Posledica tega so bile bistveno izboljšane magnetne lastnosti magnetov, sintranih v peči SPS, in sicer so bile dosežene koercitivnosti $H_{ci} = 826\text{ kA/m}$ in remanentne magnetizacije $B_r = 1\text{ T}$. Razvita metoda, ki uporablja $\text{Nd}_{70}\text{Cu}_{30}$ namesto čistega Nd, podpira razvoj učinkovitih trajnih magnetov z zmanjšano vsebnostjo kritičnih elementov. Nadalje smo z uporabo elektrokemijskega pristopa prek kemijske redukcije na monokristalno fazo $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ uspešno nanесли $1\text{ }\mu\text{m}$ debelo plast Cu. Z uvajanjem Cu kot nekritičnega elementa v mikrostrukturo Nd-Fe-B lahko nadalje prilagajamo magnetne lastnosti magnetov Nd-Fe-B na ravni posameznih zrn.

V segmentu trajnih magnetov brez kritičnih elementov redkih zemelj smo nadaljevali raziskave utrjevanja keramičnih magnetov na osnovi feritov z metodami hitrega zgoščevanja in sintranja. Ker ima hitro zgoščevanje in sintranje ključno vlogo pri hitri tvorbi funkcionalnih materialov, nas spodbuja k nadaljnjemu raziskovanju potenciala konsolidacije keramičnih magnetov na osnovi Sr-ferita. V okviru EU projekta PASSENGER (<https://passenger-project.eu/>) smo sodelovali pri karakterizaciji novih magnetnih prahov na osnovi feritov in kondenziranih magnetov.

Vezani trajni magneti – ključni cilj na tem področju je razvoj čistih proizvodnih tehnologij, ki skrajšujejo pot med začetnimi fazami načrtovanja in končnimi izdelki. Posvečamo se dodajalnim tehnologijam (3D-tiskanju), ki omogočajo hitro izdelavo kompleksnih magnetnih prototipov tako iz svežih kot recikliranih prahov.

V letu 2023 smo zaključili projekt **EIT Manufacturing aProMag** (www.apromag.eu). Projekt je bil namenjen razvoju inovativnih postopkov izdelave prototipov rotorjev za brezkrtačne enosmerne motorje in aktuatorje z naprednim 3D-tiskanjem trajnih magnetov.

Ključne inovacije so vključevale: i) integracijo 3D-tiskanja neposredno v magnetnem polju za izdelavo usmerjenih vzorcev magnetov z izboljšanimi magnetnimi lastnostmi, ii) uporabo recikliranih prahov iz Nd-Fe-B magnetov ter iii) prihranek stroškov/časa s hitro izdelavo prototipov. Doseženi preboji na področju vključujejo razvoj senzorskega sistema za nadzor magnetnih filamentov in konstrukcijo precizne šobe za proizvodnjo usmerjenih magnetov kompleksnih oblik.

Nadalje smo v okviru 3D-tiskanja trajnih magnetov izdelali filamente na osnovi $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ s polifenilen sulfidom (PPS) s faktorjem polnitve 70 ut. %. Naknadno smo izvedli tiskanje tega filamenta s 3D-tiskalnikom neposredno na trajni magnet. Pri tiskanju v magnetnem polju smo zaradi izboljšane magnetne orientacije povečali remanentno magnetizacijo za 61 %. Raziskava **Additive-manufactured anisotropic magnets for harsh environments** je bila objavljena v reviji *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171165>).

Nadaljevali smo raziskave pri projektu **M.ERA.NET Addmag** (<https://www.m-era.net/materipedia/2021/addmag>), v okviru katerega razvijamo postopek izdelave Nd-Fe-B magnetov kompleksnih oblik iz recikliranega materiala. Prvi poskusi izdelave magnetov s 3D-tiskanjem in sintranjem so pokazali, da ogljik iz polimera ni bil popolnoma odstranjen in je med sintranjem povzročil nastanek prostega železa. Postopek smo nadalje optimizirali na način, da se odstrani ves polimer, testirali pa smo tudi vzorce z nižjo vsebnostjo polimera in različne polimere, ki jih je lažje odstraniti iz vzorca.

Kemično recikliranje trajnih magnetov – pri projektu **MSCA PF Gyromags Green Recycling Route for Sm-Co Permanent Magnet Swarf** (<https://cris.cobiss.net/ecris/si/en/project/19583>) obravnavamo odpadno brusno blato pri proizvodnji magnetov Sm-Co s ciljem, da ga očistimo in recikliramo kot sekundarni vir samarija in kobalta. Z zmanjšanjem vsebnosti ogljika iz ~8 ut. % na 0,15 ut. % s kemičnimi in pirometalurškimi postopki smo podali nove smernice za njegovo učinkovito predelavo.

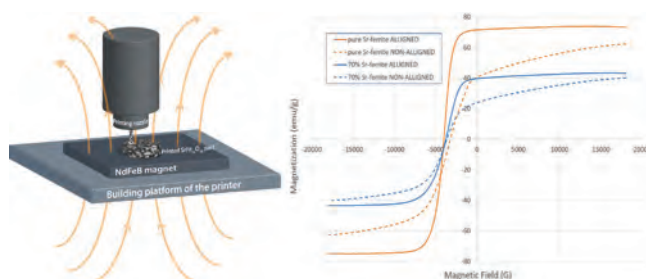
Kompleksne intermetalne zlitine

Mednarodni raziskovalni laboratorij (IRL) med Institutom "Jožef Stefan" (IJS) v Sloveniji in Institutom Jean Lamour (IJL) v Franciji si prizadeva postati vodilni evropski center na področju raziskav kompleksnih anorganskih materialov. Z uporabo celostnega pristopa, imenovanega materiomika, raziskujemo povezave med fizikalno-kemijskimi lastnostmi materialov in njihovimi značilnostmi ter končno funkcijo na ustreznih velikostnih skalah. V tem okviru je CNRS odobril podaljšanje obstoječega sodelovanja v nov IRL: *Materiomika kompleksnih anorganskih materialov*, s poudarkom na intermetalnih kompleksnih zlitinah in visoko entropijskih zlitinah ter 2D kompleksnih oksidnih fazah.

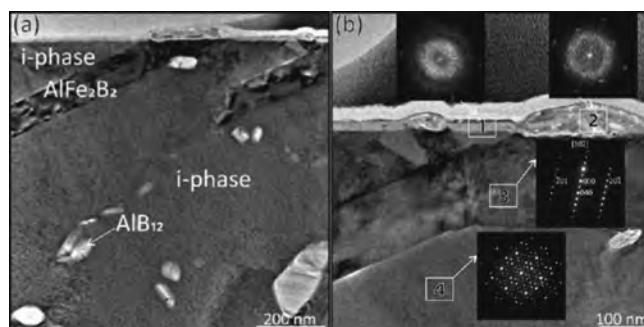
V nedavnih študijah smo raziskovali rast oksidne plasti in spremembe topografije površine in kvazikristalnem (QC) materialu $\text{Al}_{59}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{13}\text{B}_3$ v različnih eksperimentalnih pogojih in rezultirajoči vpliv na površinsko energijo z oksidom prevlečenega QC materiala. Ugotovljeno je bilo, da je z borom bogata faza AlFe_2B_2 najbolj dovzetna za oksidacijo, kar bistveno vpliva na celotno omočljivost površine. Študija je pokazala na izrazito odvisnost polarne komponente površinske energije na pogoje naravne oksidacije površine in po žarenju vzorca na zraku pri različnih eksperimentalnih pogojih. Rezultati te študije so bili objavljeni v reviji *Crystals* (<https://doi.org/10.3390/cryst13060859>).

Fuzijski materiali

Strukturni materiali predstavljajo eno izmed ozkih grl za uspešno in ekonomično uporabo fuzije kot vira energije. Razvoj novih materialov v okviru evropskega fuzijskega programa EUROfusion (2021–2025) je zato izjemnega pomena za tehnološki napredek.



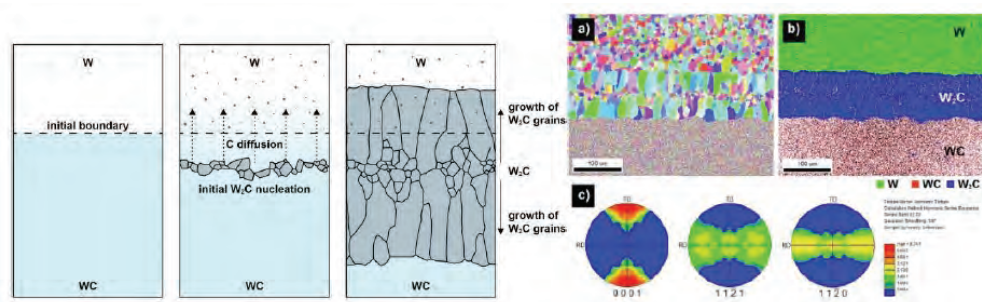
Slika 3: Shema procesa tiskanja v magnetnem polju (levo). Demagnetizacijske krivulje čistega Sr-feritnega prahu (100 % oranžna) in 3D-tiskanca (70 % modra), z (polna črta) in brez (črtkana črta) zunanjega magnetnega polja (desno) (vir: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171165>)



Slika 4: Presečna elektronska mikroskopija (TEM) – posnetki kvazikristala, žarjenega pri 500 °C v času 1 ure na zraku in visokoločljivostni posnetek oksidne plasti na površini kvazikristala, skupaj s pripadajočimi difraktogrami (vir: <https://doi.org/10.3390/cryst13060859>)

V tem obdobju smo nadaljevali raziskave na področju kompozitov W-W₂C z namenom izboljšanja dolgoročne odpornosti materialov na osnovi volframa. Kompozit W-W₂C s 4 at. % C v začetni sestavi izkazuje kar 200 °C nižjo temperaturo prehoda krhko-žilavo v primerjavi z volframom, zaradi česar predstavljajo ti kompoziti privlačno alternativo obstoječim materialom. Nadaljnji razvoj je osredotočen na poglobljeno raziskovanje razmerja med mikrostrukturo in lastnostmi tega materiala in zmožnosti povečanja obsega za predstavitev proizvodnje v industrijskem obsegu. Poleg tega se aditivna proizvodnja W-W₂C preiskuje kot obetavna pot do bolj zapletenih oblikovanih in funkcionalno razvrščenih komponent.

V sodelovanju z Odsekom za fiziko nizkih in srednjih energij (F2) smo raziskovali učinek zadrževanja devterija (D) v volframu (W), volframovemu karbidu (WC) in kompozitih W-W₂C. Raziskava, objavljena v reviji *Journal of Nuclear Materials* (<https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2023.154455>), nakazuje, da je zadrževanje D v sistemu volfram-volframov karbid odvisno od mikrostrukture in gostote napak v kristalni mreži. Objavili smo raziskavo o mikrostrukturnem razvoju kompozitnih struktur med W in WC. Študija, objavljena v reviji *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* (<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2023.106301>), se je osredotočila na zmožnost oblikovanja stabilnih funkcionalno gradientnih komponent v sistemu W-C, primernih za uporabo v komponentah v stiku s plazmo.



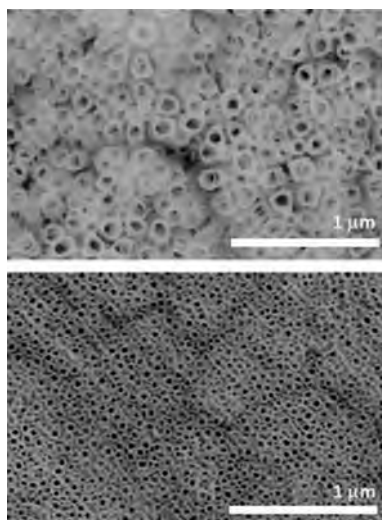
Slika 5: Shematski prikaz (levo) in analiza nastanka medfazne plasti med W in WC z uporabo vrstične elektronske mikroskopije (SEM) ter metode sipanja povratnih elektronov (EBSD) (vir: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2023.106301>)

Raziskovalna vizija skupine za katalizo je uporaba preprostih elektrokemijskih oksidacijskih tehnik na kovinskih materialih za kontrolirano spremembo morfologije, strukture in kemijske sestave površin teh materialov in jim na ta način aktivirati katalitične lastnosti za razgradnjo organskih onesnažil v okolju in za katalitično pridobivanje vodika in kisika (HER, OER).

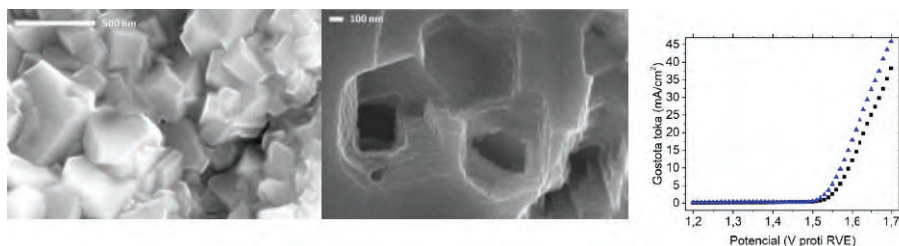
Kataliza

Poleg nadaljevanja raziskav fotokatalitičnih lastnosti TiO₂ za razgradnjo organskih onesnažil v okolju je skupina za katalizo v letu 2023 nadaljevala raziskave uporabe visokoentropijskih materialov (HEM) za katalitične aplikacije. Katalitsko aktivacijo površine HEM smo dosegli s procesom anodne oksidacije površine visokoentropijske zlitine (HEA) in jo na ta način kemijsko modificirali v visokoentropijski oksid (HEO). Za modelni material smo uporabili HEA z nominalno sestavo TiNbZrHfTa. Naši preliminarni rezultati so pokazali, da nam je na površini uspelo sintetizirati strukturo oksidnih nanoevk. Premeri le-teh so odvisni od uporabljenega potenciala

med procesom anodne oksidacije (60 V = Ø130 nm; 30 V = Ø50 nm), kar implicira, da je možno z optimizacijo postopka anodne oksidacije kontrolirati tako morfologijo kot tudi aktivno površino tankega filma, sestavljenega iz nanoevk. Po drugi strani pa je zlitina vrste Kantor pokazala obetavne rezultate pri procesu reakcije tvorbe kisika (OER). Z anodno oksidacijo CoFeNiMnCr in posledično termično obdelavo nam je uspelo sintetizirati na površini tanek oksidni film s spinelno strukturo (CoFeNiMnCr)₃O₄. Debelino nastalega filma lahko kontroliramo od nekaj nanometrov do nekaj mikrometrov. Tanek film (CoFeNiMnCr)₃O₄ HEO izkazuje nizko prenapetost za OER, to je 341 mV pri 10 mA/cm₂, Tafelovo konstanto



Slika 6: SEM-posnetek površine anodiziranega TiNbZrHfTa. a) 60 V (zgoraj) in b) 30 V (spodaj)



Slika 7: SEM-posnetki površine a) elektrokemijsko tretiranega HEA s sestavo CoFeNiMnCr (levo), b) (CoFeNiMnCr)₃O₄ (sredina) in c) LSV krivulje za (■) CoFeNiMnCr HEA in (▲) (CoFeNiMnCr)₃O₄ HEO (desno)

50 mV/dec in morfološko nespremenjeno površino po dolgotrajnem testiranju stabilnosti v alkalnih medijih. Navedeni rezultati kažejo na velik potencial uporabe HEO za OER.

Strukturo mej in površinsko kemijo rutilnih fibrov v prisotnosti vode smo proučevali z naprednimi metodami visokoločljivostne elektronske mikroskopije in spektroskopije v povezavi z atomarnim modeliranjem struktur in izračuni v okviru teorije gostotnih funkcionalov (DFT). Pokazalo se je, da se rutilni fibri med rastjo medsebojno uredijo v posebno translacijsko stanje, ki ga nadzirajo odbojne sile med protoniranimi (110) površinami, ki fibre ohranjajo na stabilni medsebojni razdalji. Med relaksacijo je opaziti turbulentno reorganizacijo površinskih hidroksilnih skupin, nastanek mreže vodikovih vezi in razpad O–H vezi. Za ta proces sta zelo značilna prenos protona z $-OH^b$ mosta na terminalne $-OH^a$ skupine ter s tem povezana spontana disociacija vode med rutilnimi fibri. Nadalje smo pokazali, da to specifično translacijsko stanje med rutilnimi fibri sproža kisel odziv v prvotno nevtralnem mediju, medtem ko normalna translacija med fibri takšnega odziva ne kaže. Naše delo predstavlja prvi znan primer kvantno omejene ploskovne meje med mineralnimi površinami in vodo, ki kaže mnemonično sposobnost prenosa lastnosti prek kvantnega stanja, zakodiranega v posebnem translacijskem stanju med dvema mineralnima površinama. Preliminarne eksperimentalne meritve so že pokazale, da kažejo fibraste strukture v nevtralnem mediju povečano električno prevodnost.

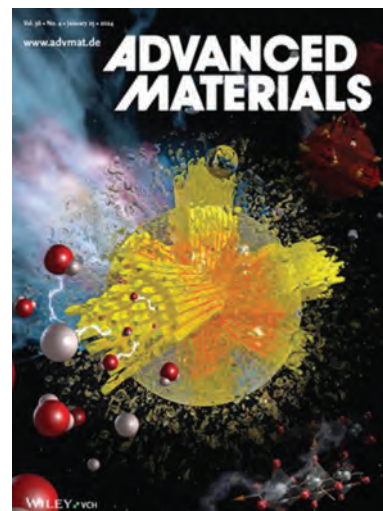
Uredništvo revije *Advanced Materials* (IF=29,2) je ob prejemu rokopisa *Mnemonic Rutile–Rutile Interfaces Triggering Spontaneous Dissociation of Water* (<https://doi.org/10.1002/adma.202308027>) naše delo prepoznalo kot vrhunsko študijo na področju fotokatalize, kar so potrdili tudi recenzenti z visokimi mnenji. Ob objavi je bil članek označen kot izbor urednikov revije in klasificiran kot vroča tema na področju katalitične cepitve vode. Ključni avtorji članka prihajajo z Odseka za nanostrukturne materiale.

Senzorji

V skupini za senzoriko razvijamo občutljive in selektivne receptorske elemente za elektrokemijsko zaznavo toksičnih organskih spojin (TOC), obstojnih in mobilnih kemikalij (PMC), biomolekul in patogenov. Receptorski elementi temeljijo na sitotiskanem trielektrodnem sistemu (SPE), ki je povezan s prenosnim potenciostatom, ki omogoča poceni in uporabniku prijazne elektrokemijske senzorje za meritve realnih vzorcev.

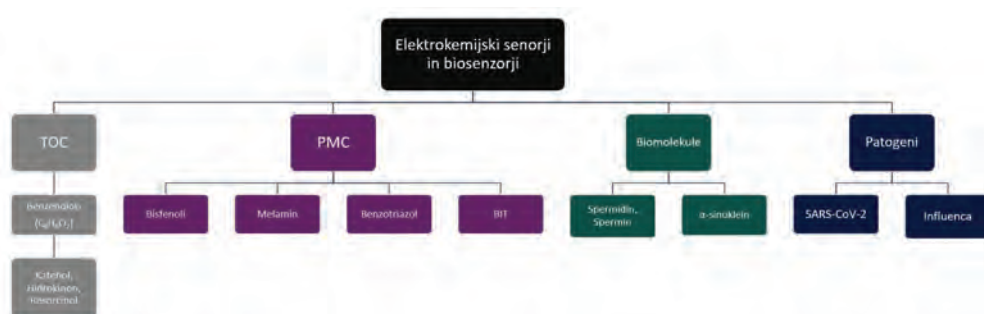
Katehol (CC), resorcinol (RS) in hidrokinon (HQ) so izomeri benzendiola, za katere je znano, da so strupeni za živa bitja. HQ je v kozmetični industriji prepovedan, medtem ko je RS še vedno njegova zamenjava.

To odkritje bo izjemnega pomena za bodoče raziskave cepitve vode. Poleg neposrednega učinka na področju fotokatalize naše delo v širšem smislu kaže na uporabnost kvantno-kemijskega računanja v povezavi z določitvijo struktur na atomarni ravni pri identifikaciji kompleksnih mehanizmov in fizikalnih procesov na mineralnih ploskovnih mejah pri načrtovanju sodobnih materialov.



Slika 8: Naslovnica (*Adv. Mater.* 4/2024)

Razvijamo receptorske elemente za detekcijo toksičnih organskih spojin (TOC) – formaldehida in benzendiola, obstojnih in mobilnih kemikalij (PMC), patogenov – SARS-CoV-2 in biomolekul, na primer poliaminov.

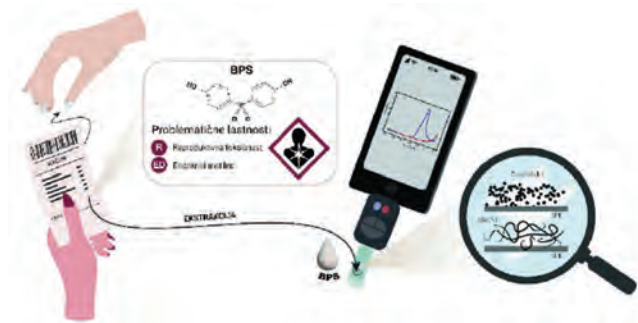


Slika 9: Izbrani analiti v okviru posameznih skupin, ki jih elektrokemijsko zaznavamo

Elektrokemijsko aktivne molekule in njihova zaznava so bile izvedene z uporabo SPE, kjer je bila delovna elektroda modificirana s tanko plastjo katalizatorja na ogljiku (Pt/C). Modificirane SPE so selektivno zaznale vse tri izomere z mejo detekcije 1 μ M za CC in HQ ter 100 nM za RS z dobro ponovljivostjo v laboratorijskih pogojih. Poleg tega smo analizirali modificirano površino SPE z uporabo elektrokemijske impedančne spektroskopije (EIS) in učinkovitost modificiranih SPE v primerjavi z nemodificiranimi, kadar se uporabljajo za detekcijo. Analiza je pokazala, da je modifikacija SPE z uporabo Pt/C opazno izboljšala električne značilnosti, rezultat pa je bil boljši zaznavni element. Prav tako so se med ciklanjem izboljšale električne lastnosti nespremenjenih elektrod; izboljšanje je neposredno sorazmerno s številom ciklov, medtem ko so modificirane elektrode že od začetka pokazale precej večjo zmogljivost, pri čemer je največja zmogljivost trajala določeno število ciklov. Nato smo opazili degradacijo.

Analiza podatkov EIS je bila izvedena z uporabo ekvivalentnega vezja, ki je dalo vpogled v možni električni model SPE, pri čemer je vsak element vezja reprezentativen za dano lastnost.

PMC so rezultati razvoja sodobne organske kemije in so prisotni v več deset tisočih vsakdanjih izdelkih. Na vrhu prioritetnega seznama PMC so bisfenoli. **Bisfenol S (BPS)** pogosto najdemo v vsakdanjih izdelkih, kot je npr. termo papir. Potrjeno je, da zlahka migrira iz papirnatih izdelkov na človeško kožo, nato vstopi v telo in moti endokrini sistem s posnemanjem hormona estrogena. Glede na njegovo široko prisotnost je ocenjevanje ravni BPS ključnega pomena. Naša študija predstavlja preprost, stroškovno učinkovit elektrokemijski senzor na osnovi delovnih SPEogljik (SPE-C) in SPEenostenske ogljikove nanocevke (SPE-SWCNT) elektrod. Zaznavanje BPS obsega široko linearno območje od 1 do 400 μM , z mejami zaznave pri 0,73 μM za SPE-C oziroma 0,87 μM za SPE-SWCNT. Oba senzorja izkazujejo odlično ponovljivost, tudi po šestnajstkratni uporabi ene elektrode, kar poudarja njun potencial za neprekinjeno spremljanje analita v realnem času. Praktična uporaba senzorjev SPE-C je bila ocenjena z zaznavanjem BPS, pridobljenega iz termo papirja, na katerega se tiskajo računi, zbranih iz bližnjih trgovin.



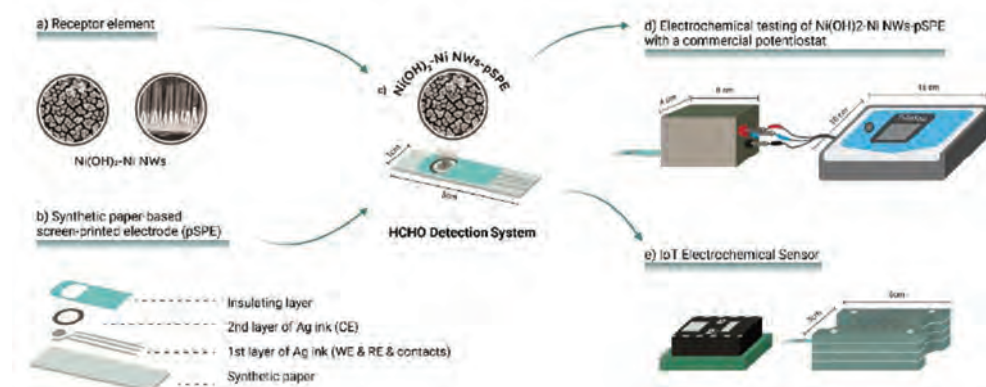
Slika 10: Elektrokemijska zaznava BPS, ekstrahirane iz termo papirja

Naslednji PMC, ki vzbuja veliko zaskrbljenost, je **benzisotiazolinon (BIT)**, ki služi kot protimikrobno sredstvo, vključeno v različne izdelke, vključno z detergenti za pranje perila, barvami na vodni osnovi in papirjem za pakiranje živil, kar znatno prispeva k onesnaženju komunalnih odpadnih vod. Izpostavljenost BIT-u prek stika kože s takimi izdelki lahko povzroči preobčutljivost in alergijske reakcije. Poleg tega izpust ali odtok snovi, ki vsebujejo BIT, predstavlja grožnjo za vodno življenje. Zato razvijamo hitre in zanesljive metode elektrokemijske zaznave, ki uporabljajo SPE na osnovi ogljika in zlata. Elektrode so pokazale odlične elektrokemijske odzive za zaznavo BIT, saj kažejo linearni razpon od 0,25 do 2000 μM za ogljikove elektrode in od 0,25 do 100 μM za zlate elektrode.

Za zaznavo BIT v raztopini smo uporabili ciklično voltametrijo (CV) in voltametrijo kvadratnih valov (SWV) ter opazili pomembne razlike med obema metodama. SWV je pokazala precej nižjo mejo zaznave v primerjavi s CV. Z ogljikovo delovno elektrodo je bila namreč meja zaznave z uporabo CV 0,61 μM , medtem ko je bila s SWV 0,04 μM . Podobno je bila razlika z zlato delovno elektrodo še izrazitejša, saj je CV dal mejo zaznave 6,84 μM v primerjavi z 0,07 μM pri SWV. Za oceno potenciala za implementacijo predlaganega senzorja za analizo na kraju samem je bil uporabljen BIT v rečnih vzorcih, kar kaže na njegovo morebitno primernost za spremljanje dejanskih vzorcev.

Elektrokemijska zaznava **biomolekul** je novo področje, s katerim smo začeli leta 2023, ko je bil sprejet skupni projekt naše in italijanske skupine IMEM iz Parme (CNR). Projekt SENSE-PA se osredotoča na razvoj nove senzorske platforme, ki temelji na elektrokemijskih biosenzorjih za zaznavo pomembnih bioloških molekul poliaminov (PA), in sicer putrescina, spermidina in spermina. Odgovorni so za številne celične funkcije, vključno s celično proliferacijo, stabilizacijo konformacij nukleinskih kislin, celično delitvijo, homeostazo itd. Ravni PA v vzorcih krvi pri bolnikih z rakom so znatno višje od tistih pri zdravih ljudeh. Zato se visoka raven PA obravnava kot biomarker za pravočasno diagnozo raka in drugih patofizioloških stanj. Posledično je neposredna detekcija PA v bioloških tekočinah zelo zanimiva. Razviti prenosni elektrokemijski biosenzorji bodo omogočili hitro, občutljivo in selektivno zaznavo PA v vodi in bioloških tekočinah (umetna slina, umetni urin in pravi vzorci) z mejami zaznave do nM območja.

V okviru razvoja lastno izdelanih miniaturnih, prenosnih, brezžičnih, enostavnih in poceni senzorjev za detekcijo TOC in PMC smo v reviji *MDPI Sensors* objavili članek z naslovom: *IoT Electrochemical Sensor with Integrated*



Slika 11: Elektrokemijska zaznava HCHO z uporabo komercialnega potenciostata in našega prenosnega senzorskega sistema IoT (vir: <https://doi.org/10.3390/s23104676>)

Ni(OH)2-Ni Nanowires for Detecting Formaldehyde in Tap Water (<https://doi.org/10.3390/s23104676>). Izdelali smo prenosni, avtonomen, IoT elektrokemijski senzor, ki zaznava formaldehid (HCHO) v destilirani ali vodovodni vodi. Senzor obsega elektroniko, sestavljeno iz razvojnega kompleta Photon Internet of Things (IoT), priključka USB za polnjenje in miniaturiziranega potenciostata, vse skupaj pa je zaprto v majhnem zaščitnem ohišju (velikosti 58 mm x 33 mm). Zunanji del senzorja se lahko poveže s sistemom za zaznavanje HCHO prek tripolnega konektorja za SPE-elektrode. Sistem za zaznavanje HCHO, ki temelji na po meri izdelanih Ni(OH)2-Ni NWs SPE, nam je omogočil hitro (1 s) zaznavanje HCHO v alkalnem mediju. Sistem lahko zazna koncentracije HCHO pri 0,8 µM/24 ppb, z linearnim odzivom v dveh širokih razponih koncentracij HCHO ($0,8 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-4}$ M in $5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ M). Združuje tudi osnovne zahteve za uporabo v realnem času, vključno z nizkimi stroški, preprostostjo, selektivnostjo in občutljivostjo ter s ponovno uporabnostjo in ponovljivostjo. Tako je ta študija pokazala, da je razvit IoT elektrokemijski senzor, ki omogoča enostavno zamenjavo zunanjega sistema zaznavanja, mogoče uporabiti kot učinkovito, prenosno in poceni napravo za testiranje HCHO in drugih organskih/anorganskih onesnaževal v dejanskih pogojih.

Nanomedicina

Skupina Nanomedicina razvija biomimetične dostavne sisteme za inovativno zdravljenje raka in diagnostiko, s poudarkom na naslednjih področjih:

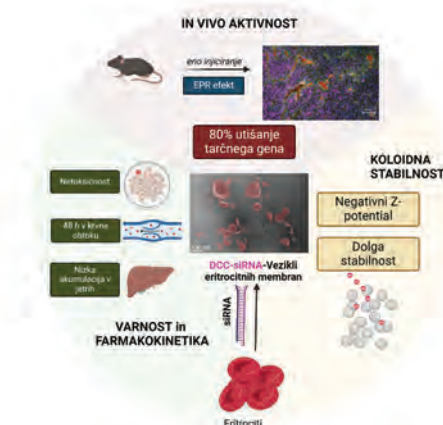
- **Kontrastna sredstva za slikanje z magnetno resonanco:** razvijamo nove in varnejše formulacije na osnovi superparamagnetnih nanodelcev.
- **Fototermična terapija:** prenosni NIR-laser z nastavlljivo močjo uporabljamo za obsevanje suspenzij, celic in živalskih modelov. Testiramo številne nanomateriale in molekule, ki izkazujejo fototermični učinek.
- **Genska terapija:** proste nukleinske kisline so zelo nestabilne, zato razvijamo dostavne sisteme za učinkovit in varen vnos nukleinskih kislin v celice. V ta namen uporabljamo vezikle iz eritrocitnih membran in poliamin-genipin polimerne delce.
- **Aktivno ciljanje rakastih celic:** prek aktivnega ciljanja receptorjev, ki so pretirano izraženi na rakastih celicah, v manjši meri pa na normalnih, želimo izboljšati specifičnost terapij in hkrati zmanjšati stranske učinke. V ta namen razvijamo analoge peptidov z visoko afiniteto do teh receptorjev.

Eden najbolj revolucionarnih dosežkov v novi dobi je genska terapija, ki se osredotoča na uporabo terapevtske dostave nukleinskih kislin v pacientove celice (tako imenovana transfekcija). Kljub velikemu potencialu za terapijo so največji izzivi povezani z učinkovito dostavo nukleinskih kislin na tarčno mesto in imunogenostjo. Zato je razvoj novih, varnejših in hkrati zelo učinkovitih transfekcijskih sredstev ključnega pomena za napredek na tem področju. V letu 2023 smo izvedli prebojno študijo, kjer smo razvili nov in učinkovit postopek za pripravo veziklov iz eritrocitnih membran kot dostavnega sistema za nukleinske kisline v namen genske terapije (slika 12), ki je v celoti zaključen v štirih urah, kar je pomemben korak naprej v realizaciji terapij personalizirane medicine, ki ostaja največji izziv 21. stoletja. Naredili smo podrobno karakterizacijo teh veziklov z metodami napredne elektronske mikroskopije v sodelovanju s Kemijskim inštitutom v Ljubljani in Institutom za biologijo celice Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani. Dokazali smo, da vezikli učinkovito zaščitijo nukleinske kisline pred encimsko razgradnjo z visoko stabilnostjo do enega meseca.

Celotna študija je bila opisana v članku, ki je bil poslan v recenzijo v *Journal of Controlled Release*. Študija je bila izvedena v sodelovanju z Onkološkim inštitutom Ljubljana.

Kot nadgradnjo te študije smo začeli z aktivnim načinom tarčenja celic raka dojke, da bi izboljšali selektivnost in učinkovitost dostave siRNA v te celice. V ta namen uporabljamo metode molekulskega modeliranja za določitev optimalne sekvence peptidov, ki izkazujejo visoko selektivnost in afiniteto do tarčnih receptorjev. Izbran peptid smo uspešno vezali na površino veziklov in bomo v letu 2024 nadaljevali testiranja na celičnih modelih.

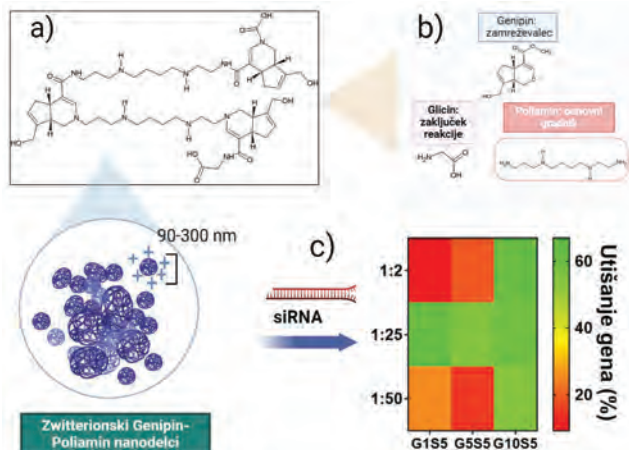
Poleg uporabe veziklov iz eritrocitnih membran smo v letu 2023 razvili tudi inovativne, kationske poliaminske nanodelce iz naravnih sestavin (genipina in poliaminov) kot varen in učinkovit dostavni sistem dostave za RNA molekule (slika 13). Predlagani nanodelci izkazujejo tudi fluorescenčne lastnosti, kar lahko s pridom uporabimo za namene slikanja.



Slika 12: Shematski prikaz veziklov eritrocitnih membran z enkapsulirano siRNA. Vezikli ohranijo zeta potencial starševskih eritrocitov in so stabilni do 4 tedne pri 4 °C. Njihovo sposobnost utišanja genov smo testirali in vitro na celični liniji mišjega melanoma B16F10 in pri miših s tem tumorjem. Določili smo tudi njihovo biodistribucijo in farmakokinetične lastnosti ter ugotovili, da vezikli izredno podaljšajo čas cirkulacije (nekaj minut za prosto siRNA na 48 za enkapsulirano v vezikle).

Na celičnih modelih in nato še na živalskih modelih smo dokazali učinkovitost utišanja tarčnih genov z našimi vezikli, ki vsebujejo enkapsulirano siRNA.

Fluorescentni genipin-poliaminski nanodelci kot nosilci nukleinskih kislin so popolna inovacija na področju transfekcije in dostave nukleinskih kislin.



Slika 13: a) Splošna struktura genipin-poliaminskih polimernih nanodelcev z velikostjo 90–300 nm. Zaradi poenostavitve so bile nekatere vezi podaljšane in slika ni reprezentativna za strukturno razporeditev polimera v vodi ali pufru; b) sestavine polimerov in njihova vloga v procesu sinteze; c) učinkovitost utišanja gena (%) po inkubaciji celic B16F10 s polimernimi nanodelci, ki vsebujejo siRNA, določena z analizo qRT-PCR.

učinkovitega zdravljenja raka (<http://znanost.sta.si/3203860/slovenska-raziskovalka-z-nanotehnologijo-dobolj-ucinkovitega-zdravljenja-raka>).

Poleg tega smo ta sistem testirali na številnih celičnih modelih, med njimi tudi takšnih, kjer je vnos nukleinskih kislin še posebej težek (limfoblasti).

Dokazali smo, da so genipin-poliamin nanodelci izredno učinkovito in precej bolj varno transfekcijsko sredstvo kot komercialno dostopni reagenti (npr. lipofectamine), kar nakazuje na velik potencial za nadaljevanje predkliničnih poskusov in tudi prenosa proti višjim ravnom tehnološke razvitosti. Rezultati te študije so trenutno v recenziji v reviji *Journal of Nanobiotechnology* (faktor vpliva 10,2).

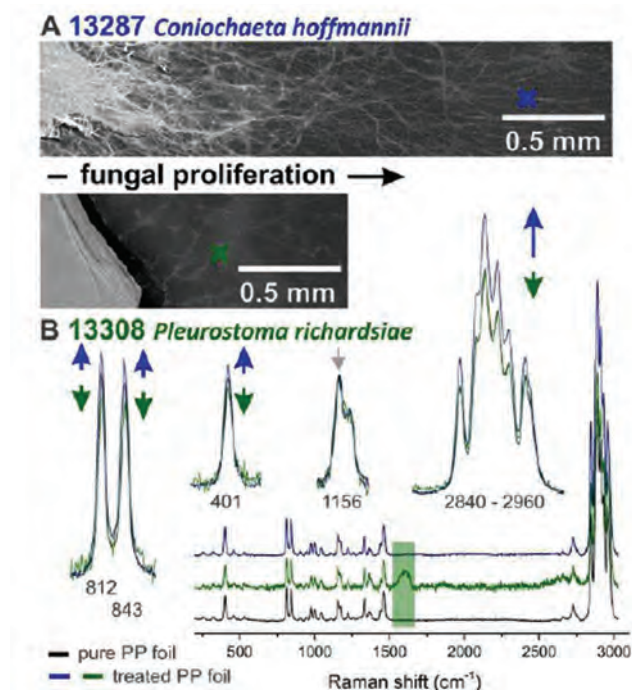
Na področju fototermične terapije intenzivno testiramo številne nanomaterialne, od magnetnih nanodelcev, zlatih nanostruktur, karbonskih pik, bizmut-selenidnih struktur itd. Objavili smo dva članka na tem področju. Prvi je v sodelovanju z Univerzo v Novi Gorici z naslovom *Silica coated Bi₂Se₃ topological insulator nanoparticles: an alternative route to retain their optical properties and make them biocompatible* v reviji *Nanomaterials* (<https://doi.org/10.3390/nano13050809>). Drug članek je nastal v sodelovanju s Politecnico di Torino, Italija z naslovom *Tannic-acid-mediated synthesis and characterisation of magnetite-gold nanoplatforms for photothermal therapy*, objavljen v *Nanomedicine* (<https://doi.org/10.2217/nnm-2023-0134>).

Poleg odlične znanosti kot poslanstvo smatramo tudi predstavitev teh raziskav širšemu občinstvu. V ta namen je dr. Nina Kostevšek v letu 2023 izvedla radijski intervju v oddaji Podobe znanja, ARS, z naslovom *Kako bi rdeče krvničke namesto kisika dostavile zdravila* (<https://365.rtvsl.si/arhiv/podobe-znanja/174962029>).

Nato pa še videointervju in podkast za Slovensko tiskovno agencijo z naslovom *Slovenska raziskovalka z nanotehnologijo do bolj*

Mikroplastika

Skupina za mikroplastiko si prizadeva narediti pomemben preboj v metodah za učinkovito odstranjevanje mikro- in nanoplastike iz okolja blizu vira onesnaženja. Naše raziskovalno delo je posvečeno sintezi fotokatalizatorja, fotorazgradnji, biorazgradnji in karakterizaciji fotokatalizatorjev ter analizi sprememb v mikro-/nanoplastiki. Učinkovite metaloksidne (ZnO, TiO₂ itd.) fotokatalizatorje razvijamo z uporabo hidrotermalne ali solvotermalne sinteze in nanašanja atomskih plasti (*ang.* ALD). Tanke plasti ZnO, dopirane z atomi bakra, kot objavljeno v reviji *Ceramics International* (<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.08.196>) in nanokompoziti na osnovi TiO₂ in reduciranega grafenovega oksida, kot objavljeno v reviji *MDPI Molecules* (<https://doi.org/10.3390/molecules28217326>), smo uporabili za razgradnjo metilen modrega barvila v prisotnosti vidne svetlobe, raziskavo smo začeli v okviru bilateralnega projekta ARIS BI-HR/20-21-017. V okviru projekta ARIS J4-2549 (<https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/project/18312>) smo identificirali dve glivi, *Coniochaeta hoffmannii* in *Pleurostoma richardsiae*, ki sta sposobni kolonizirati polipropilenska (PP) vlakna. Študija je objavljena v reviji *Microbiological Research* (<https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127507>). Vse naše raziskovalne teme, sinteza fotokatalizatorja, fotorazgradnja, biorazgradnja in karakterizacija fotokatalizatorjev ter analiza sprememb v mikro-/nanoplastiki so združene v nedavni interdisciplinarni raziskavi velike toče, ki je leta 2019 padla v Sloveniji, kjer smo našli različne mikroorganizme in vlakna naravnega in antropogenega izvora, kot je objavljeno v reviji *Science of The Total Environment* (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158786>, IF 9,8).



Slika 14: Izbrani glivi *C. hoffmannii* in *P. richardsiae* raste na čisti polipropilenski (PP) foliji. S SEM-slik se vidi, da se *C. hoffmannii* (A) širi po površini bolj kot *P. richardsiae* (B). Ramanska spektroskopija razkrije poškodbe PP vezi zaradi rasti izbranih gliv na površini plastike (vir: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127507>).

Polprevodniška keramika na osnovi ZnO

Kot nestrupen in poceni polprevodniški oksid tipa n , s prepovedanim pasom širine 3,4 eV in visoko energijo absorpcije, se ZnO široko uporablja na področju prenapetostnih zaščit, obenem pa ima tudi velik potencial na drugih tehnoloških področjih, kot so piezoelektrične, piroelektrične, termoelektrične, optične, luminiscenčne in fotokatalitske aplikacije. Visoka dovzetnost za dopiranje, ki omogoča spreminjanje fizikalnih lastnosti v skladu z zahtevanimi lastnostmi, je dodatna tehnološka prednost ZnO.

Na obeh navedenih področjih uporabe lahko v keramiki ZnO uporabimo iste dopante za vplivanje na razvoj mikrostrukture, točkaste in ploskovne napake v zrnih, elektronska stanja v zrnih in na mejah zrn, koncentracijo in mobilnost nosilcev naboja ter transport naboja in toploto, da se prilagodijo njene lastnosti zahtevam uporabe.

Varistorska keramika na osnovi ZnO za prenapetostne zaščite – izjemna tokovno-napetostna (I-U) nelinearnost varistorske keramike na osnovi ZnO je posledica elektrostatskih dvojnih Schottkyjevih pregrad na mejah zrn, ki jih povzročijo dopanti, kot so oksidi Bi, Pr in V. Za visoko I-U nelinearnost keramike ZnO so potrebni še drugi dopanti, kot so oksidi Sb, Ti, Sn, Co, Mn, Ni, Cr in Al; ki vplivajo na elektronska stanja na mejah zrn, hkrati pa se nekateri od njih (oksidi Co, Mn, Ni) vgradijo tudi v zrna ZnO kot donorji in povečajo njihovo prevodnost. Dopanti, kot so Sb, Ti in Sn, pa povzročijo nastanek ravninskih napak v zrnih ZnO, tako imenovane inverzne meje (IB). Naše prejšnje raziskave so pokazale, da imajo IB ključni vpliv na rast zrn ZnO in s tem na preobno napetost varistorske keramike. Takšna sestava varistorske keramike s številnimi dopanti, dodanimi ZnO v skupni količini od 7 do 12 mas. %, povzroči kompleksno mikrostrukturo keramike z različnimi sekundarnimi fazami na mejah med zrnji ZnO, kar zmanjša učinkovit električni stik med njimi.

Naše raziskave so namenjene razumevanju kompleksnega medsebojnega delovanja dopantov na elektronska stanja v zrnih in na mejah med zrnji ter na rast zrn ZnO in razvoj mikrostrukture, kar je ključnega pomena za optimizacijo električnih in energijskih lastnosti varistorske keramike na osnovi ZnO, po možnosti pri veliko manjšem dodatku dopantov k ZnO (tj. 3 do 5 mas. %), da se čim bolj zmanjšajo ali povsem odpravijo nepotrebne sekundarne faze.

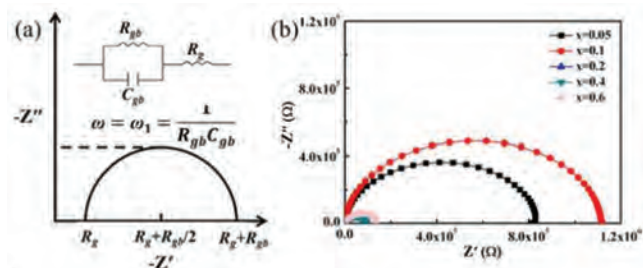
Naše raziskave, v sodelovanju s Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Science – SICCAS, o vplivu izbranih dopantov in procesnih parametrov na tvorbo elektrostatskih Schottkyjevih barier na mejah med zrnji in na električne/termoelektrične lastnosti keramike ZnO, so privedle do odkritja nove vrste varistorske keramike na osnovi $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$. Študija je bila objavljena v *ACS Applied Materials & Interfaces* (<https://doi.org/10.1021/acsami.1c07735>). V primerjavi s trenutno znanimi vrstami varistorske keramike na osnovi ZnO nova varistorska keramika ne vsebuje hlapnih (Bi_2O_3), dragih (Pr_6O_{11}) in strupenih (V_2O_5) dopantov, ima kemijsko preprosto in bistveno cenejšo sestavo z manj kot 5 ut. % dopantov in je praktično enofazna. V varistorski keramiki tipa $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ tvorbo elektrostatskih Schottkyjevih barier povzroči dodatek Cr_2O_3 , medtem ko dodatek majhnih količin oksidov Ca, Co in Sb dodatno izboljša I-U nelinearnost.

Optimalna količina dodanega Cr_2O_3 je bila določena pri približno 0,1 mol. %, kot je objavljeno v reviji *Materials Research Bulletin* (<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2022.112111>), pri večjih dodatkih pa začne nastajati sekundarna faza $\text{Ca}_3(\text{CrO}_4)_2$, ki povzroči znižanje elektrostatskih barier in poslabšanja nelinearnih lastnosti. Dodatek CaO pozitivno vpliva na višino elektrostatskih Schottkyjevih barier in nelinearno I-U karakteristiko v mejah trdne topnosti v ZnO, ki znaša okoli 2 mol. %. Glede dopiranja s Co_3O_4 so bile najboljše lastnosti dosežene pri dodatku 0,5 mol. %, pri večjih dodatkih pa presežni ioni Co^{3+} na mejah med zrnji delujejo kot donorji povečajo koncentracijo nosilcev naboja v področju mej med zrnji, kar vodi do znižanja elektrostatskih barier in slabše nelinearnosti varistorske keramike $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$, kot je objavljeno v reviji *Materials Science in Semiconductor Processing* (<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2023.107570>).

Na področju varistorske keramike in prenapetostnih zaščit smo sodelovali s podjetjema Bourns in Raycap pri razvoju varistorjev za različna področja uporabe in optimizaciji njihove proizvodnje. Temeljne raziskave na področju stabilnosti inverznih mej (IB) v ZnO, ki potekajo v sodelovanju s Centrom za materiale v Leobnu (MCL) v Avstriji, od leta 2023 financira tudi Slovenska raziskovalna agencija (ARIS) v podoktorskem projektu ARIS Z2-50056 z naslovom: *Stabilnost in tvorba inverznih mej v ZnO: DFT in eksperimentalni pregled za nove dopante, ki tvorijo IB*. V okviru tega projekta razvijamo teoretični pristop za *ab initio* računanje stabilnosti in mehanizmov formiranja kemijsko induciranih domenskih sten v različnih elektronskih in funkcionalnih materialih. Osrednja vsebina projekta je identifikacija dopantov, ki sprožajo tvorbo inverznih mej v ZnO, ter kaskade spontanega strukturnih transformacij ob vgradnji teh dopantov.

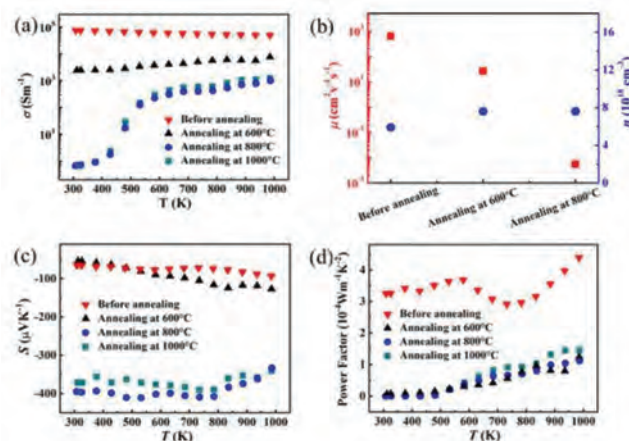
Dopanti, ki bodo v presejalni analizi kazali, da naj bi spontano tvorili IB v ZnO, bomo preverili tudi z ustreznimi eksperimentalnimi metodami, ki vključujejo različne sintezne metode, visokoločljivostno elektronsko mikroskopijo in atomistično modeliranje, ki bo namenjeno preverjanju teoretično napovedanih struktur. Posebna pozornost bo posvečena razumevanju mehanizmov nastanka IB na atomarni ravni.

V središču naših raziskav je razumevanje temeljnih vprašanj fizike in kemije trdne snovi za razvoj keramike na osnovi ZnO in debeloslojnih struktur z izboljšanimi lastnostmi za uporabo na področju prenapetostnih zaščit in v termoelektričnih tehnologijah.



Slika 15: (a) Tipično ekvivalentno vezje in idealni Nyquistov graf varistorske keramike na osnovi ZnO (R_{gb} , C_{gb} za meje med zrnji, R_g za zrna). (b) Diagrami impedance, izmerjeni pri 200 °C za varistorsko keramiko tipa ZnO- Cr_2O_3 z različnimi dodatki Cr_2O_3 ($x = 0,05, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6$), ki kažejo veliko večjo upornost mej med zrnji (R_{gb}) pri optimalnih dodatkih Cr_2O_3 do 0,1 mol. %. (vir: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2022.112111>)

Cilj naših raziskav je razumeti vpliv donorskih dopantov (M^{3+}) na koncentracijo in mobilnost nosilcev naboja ter mejne površine, kot so meje zrn (GB) in specifične inverzne meje (IB) v zrnih ZnO na prenos naboja in toplote. Posebna pozornost je namenjena vlogi multiplih IB, ki jih povzročijo dopanti, kot sta In^{3+} in Ga^{3+} , saj delujejo kot energijski filtri, kjer se poti elektronov in fononov razcepijo.



Slika 16: Temperaturna odvisnost (a) električne prevodnosti (σ), (b) Hallove meritve koncentracije nosilcev naboja (n) in mobilnosti (μ), (c) Seebeckovega koeficienta (S) in (d) faktorja moči (PF) termoelektrične keramike na osnovi ZnO, pripravljene s sintranjem v reducirni atmosferi, pred žarjenjem in po žarjenju na zraku pri različnih temperaturah (vir: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.091>).

Termoelektrična keramika na osnovi ZnO – izboljšanje termoelektričnih lastnosti keramike ZnO, izražene s faktorjem kvalitete ZT ($ZT = \sigma S^2 T / \kappa$), zahteva predvsem znatno povečanje električne prevodnosti (σ) ob ohranjanju zelo visokega Seebeckovega koeficienta (S) 400 μV/K in izrazito zmanjšanje visoke toplotne prevodnosti (κ), ki jo ima ZnO zaradi preproste kristalne strukture, ki jo sestavljajo lahki elementi.

Elektroni vzdolž planarnega defekta, ki je po širini omejen na eno plast atomov in praktično neskončen v drugih dveh dimenzijah, preklapijo na balistični transportni način (σ_p). Hkrati 2D struktura in kemijska anizotropija IB povzroča sipanje fononov, kar zniža toplotno prevodnost keramike ZnO. Raziskava poteka v sodelovanju s *Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Science (SICCAS)* (Shanghai, Kitajska), *CRISMAT Laboratory* (Caen, France) in *National Institute for Materials Science – NIMS* (Tsukuba, Japan).

Nekateri ključni problemi za znatno povečanje električne prevodnosti ZnO so povezani z zelo omejeno trdno topnostjo donorskih dopantov (npr. Al^{3+}) v ZnO in s tvorbo elektrostatskih Schottkyjevih barier na mejah med zrnji zaradi intrinzičnih akceptorskih stanj, tj. intersticijski kisik (O_i) in cinkove vezeli (V_{Zn}). Naši rezultati so pokazali, da sintranje v redukativni atmosferi večinoma prepreči nastanek Schottkyjevih barier na mejah med zrnji in hkrati močno poveča trdno topnost Al v ZnO, kar ima za posledico povečanje električne prevodnosti keramike za več redov velikosti, medtem ko se toplotna prevodnost zmanjša zaradi visoke koncentracije točkovnih napak v zrnih ZnO. Ob tem se postavlja vprašanje stabilnosti takšne termoelektrične keramike v oksidativnih pogojih delovanja. Nadaljnje študije so pokazale, da naknadno dolgotrajno žarjenje na zraku pri temperaturah do 1000 °C ne vpliva na povečano trdno topnost donorskih dopantov (tj. Al), doseženo v keramiki s sintranjem v redukcijski atmosferi, zmanjša pa se koncentracija intrinzičnih donorskih napak, tj. cinkovih intersticij (Zn_i) in kisikovih vrzeli (V_{O}), zato se zmanjša koncentracija nosilcev naboja. Kljub temu je faktor moči, PF ($\text{PF} = \sigma S^2$), keramike, žarjene na zraku, še vedno 8-krat večji kot pri ZnO keramiki, pripravljene samo s sintranjem na zraku, kar daje dobre smernice za nadaljnji razvoj termoelektrične keramike ZnO, kot je objavljeno v reviji *Journal of Materials Research and Technology* (<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.091>).

Inženirska keramika

Aditivno oblikovanje (AM) – raziskovali smo vpliv različnih strategij nanosa posameznega sloja strukture med kontrolirano depozicijo mikrometrskih kapljic – termoplastično 3D-tiskanje (T3DP) na populacijo nepravilnosti (napak) in na upogibno trdnost z itrijem dopirane cirkonijeve oksidne (3Y-TZP) keramike. Rezultati so bili povzeti v znanstvenem članku v novonastali hčerinski reviji JECS odprtega tipa *Open Ceramics* (<https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100367>). Za razliko od tehnologij taljenja filamentov (ang. fused filament fabrication, FFF) smo pokazali, da strategije nanosa in vnos napak ne vplivata bistveno na mehansko trdnost natisnjenih komponent. Poleg tega smo razvili lastno formulacijo surovine za tiskanje s FFF postopkom ekstruzije. Pokazali smo, da razmerje med etilen vinil acetatom in parafinom pomembno vpliva na parametre tiskanja, kakovost zelenih oblikovancev ter na postopek izгона veziva in sintranja. Delo je bilo objavljeno v *Open Ceramics* (<https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100496>).

V sodelovanju z Montanuniversität Leoben, Avstrija, smo pokazali možnost hitre usmerjene rasti zrn keramike iz aluminijevega oksida, ki je bila aditivno oblikovana s tehniko stereolitografije suspenzij vsebujoč fotoobčutljiv monomer (LCM). Usmerjeno rast (teksturiranje) smo dosegli s hitrim radiacijskim sintranjem, ki izkorišča hitro segrevanje ($\sim 450^\circ\text{C}/\text{min}$) in kratke zadrževalne čase ($< 20\text{ min}$) na temperaturi, kar omogoča načrtovanje mikrostruktur aditivno oblikovanih keramik. Delo je bilo objavljeno v *Open Ceramics* (<https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100428>).

Dentalna keramika – na področju dentalne keramike, predvsem z irijem dopirane cirkonijske oksidne keramike (YSZ), tesno sodelujemo s Katedro za stomatološko protetiko Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani (DPD-MF-UL), kjer izvajamo številne *in vitro* ter *in vivo* klinične študije. Postopek hitrega sintranja postaja zanimiv tudi za področje procesiranja dentalne keramike. V letu 2023 smo bili povabljeni, da pošljemo prispevek v posebno izdajo revije *Current Oral Health Reports*, kjer smo objavili pregledni članek o primerjavi počasnih in hitrih postopkov sintranja YSZ keramike *Sintering Strategies for Dental Zirconia Ceramics: Slow Versus Rapid?* (<https://doi.org/10.1007/s40496-023-00355-y>). Pregledni članek smo napisali skupaj z ugledno profesorico Mutlu Özcan, direktorico klinike (Clinic for Masticatory Disorders and Dental Biomaterials) na Univerzi iz Züricha, Švica.

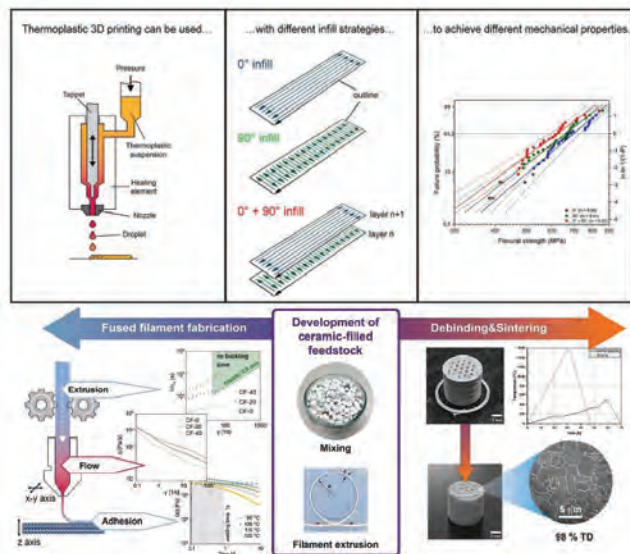
V sodelovanju z avstrijskima Montanuniversität Leoben in Lithoz GmbH (Dunaj, Avstrija) smo študirali vpliv peskanja in regeneracijskega žganja na površinske poškodbe in trdnost aditivno oblikovane YSZ za dentalne aplikacije. Delo smo objavili v vodilni reviji dentalnih materialov *Dental Materials* (<https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.10.025>). Pokazali smo, da je tehnika LCM obetavna za bodoče oblikovanje dentalne keramike, ki sedaj temelji na odzemaalni tehniki rezkanja. Odcementiranje enokrilnih adhezijskih mostov, izdelanih iz YSZ keramike, je glavni tehnični zaplet takšne protetične oskrbe. V klinični randomizirani kontrolni raziskavi smo pokazali, da priprava površine lepljenja adhezijskih mostov z nanostrukturiranim aluminatnim nanosom nudi obetavno klinično izboljšavo, kot je bilo objavljeno v reviji *The Journal of Prosthetic Dentistry* (<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.07.003>). Dolgoročno uspešnost adhezijskih mostov, pripravljenih z aluminatnim nanosom, smo nadalje potrdili v *in vitro* raziskavi, kjer smo mostove utrujali pod pogoji, ki so posnemali dolgoročno izpostavljenost mostov agresivnim pogojem v ustni votlini. Hkrati smo z analizo končnih elementov validirali *in vitro* eksperimentalni model, kot je bilo objavljeno v reviji *Science Materials* (<https://doi.org/10.3390/ma16072646>).

V sodelovanju z nemškim Department of Prosthetic Dentistry, Center for Dental Medicine, Faculty of Medicine, Univerze v Freiburgu, smo objavili skupni članek o dolgoročni stabilnosti keramičnih dentalnih implantatov, ki so bili podvrženi hidrotermalnemu in mehanskemu utrujanju. Delo smo objavili v *Journal of Functional Biomaterials* (<https://doi.org/10.3390/jfb14030123>).

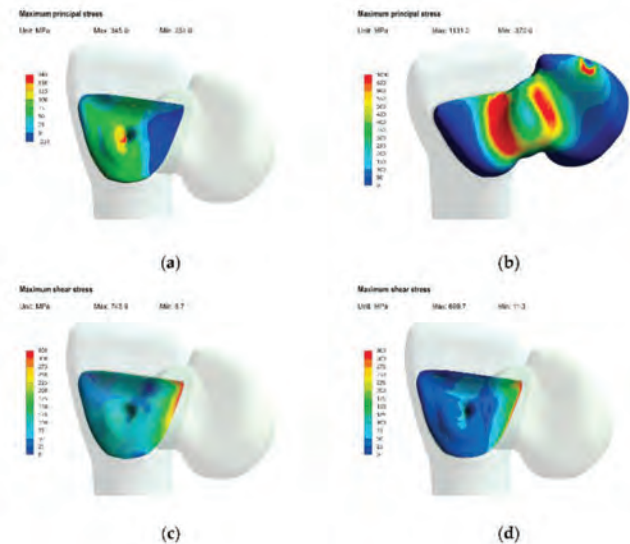
Za nemško Charité-Universitätsmedizin Berlin smo opravili fraktografsko analizo aditivno oblikovanih in rezkanih kompozitnih smol, ki se uporablja v protetiki. Delo smo objavili v *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* (<https://doi.org/10.1111/jerd.13132>).

Biokeramični materiali

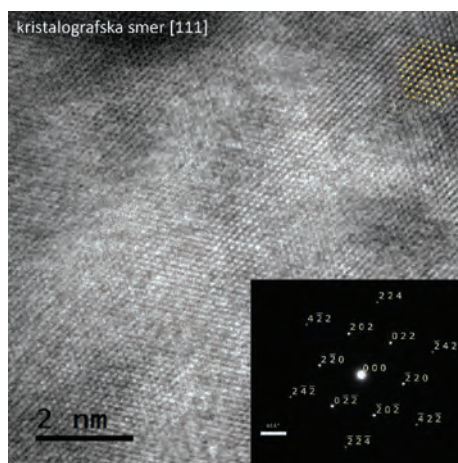
Odepljeno podjetje Genuine Technologies, d. o. o., soustanovljeno s strani posameznih članov odseka, uporablja licenco IJS na podlagi izuma za proizvodnjo cementa kalcijevih silikatov za endodonsko zdravljenje zob. V sodelovanju z Endodont, d. o. o., smo objavili študijo v reviji *Materials* (<https://doi.org/10.3390/ma16083174>), kjer smo primerjali reološke lastnosti in kinetiko strjevanja biokeramičnih hidravličnih cementov RS+ in ProRoot MTA. V letu 2023 je podjetje GenTech sprostilo na trg nov izdelek, medicinski pripomoček tipa I, formulacijo amorfne bioaktivnega stekla za zdravljenje hipersenzitivnosti zob.



Slika 17: Grafični prikaz priprave surovin in izdelave filamentov za dodajalne tehnologije, ki ji sledi izgon veziv in sintranje 3Y-TZP keramike (vir: <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100367>), (vir: <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100496>)



Slika 18: Izračunane napetosti, predstavljene v kolorimetričnih zemljevidih napetosti (MPa) za smolo vezano fiksno zobno protezo (vir: <https://doi.org/10.3390/ma16072646>).

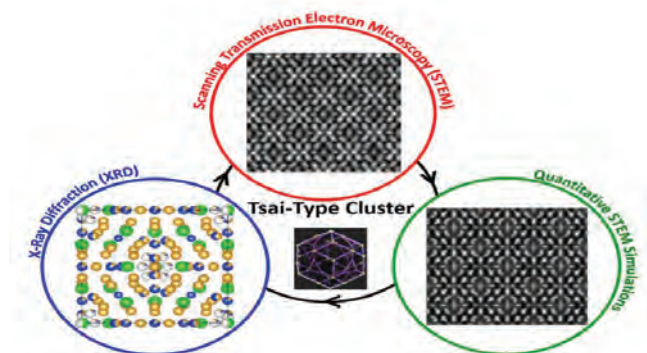


Slika 19: TEM-slika nanodiamantnega zrna atomske ločljivosti v projekciji [111]. Zgoraj desno je prikazana kristalna struktura, ki ustreza projekciji [111]. Spodaj desno je indeksiran vzorec elektronske difrakcije tega območja.

S pomočjo elektronske difrakcije, visokoločljivostne TEM- in EDS-analize ter spektroskopije merjenja izgub energije elektronov (EELS) smo nedvoumno potrdili prisotnost naravnih diamantov v pohorskem masivu.

Skupina za napredno elektronsko mikroskopijo razvija in uvaja najnovejše tehnike elektronske mikroskopije za preiskave materialov.

Pri tem uporabljamo različne tehnike elektronske mikroskopije (EM) za napredno karakterizacijo nanomaterialov, s posebnim poudarkom na karakterizaciji notranjih mej v različnih najsodobnejših funkcionalnih materialih. Trenutno se osredotočamo na 4D-tehnike zajema slik s pomočjo vrstične elektronske mikroskopije (STEM/4D-STEM) s poudarkom na rekonstrukciji izhodnega elektronskega vala pod vzorcem. Slednje podpiramo z računskimi operacijami, ki omogočajo hitro obdelavo velikega števila podatkov in napredno avtomatizacijo postopkov zajema informacije v elektronskem mikroskopu. V okviru eksperimentalne mikroskopije uporabljamo *in-situ* TEM-tehnike za proučevanje materialov v njihovem naravnem okolju sinteze in delovanja ter pod dinamičnimi pogoji opazovanja. Poleg tega nenehno razvijamo postopke priprave vzorcev z uporabo tehnologije fokusiranega ionskega snopa za podporo naprednim TEM-analizam.



Slika 20: Preplet različnih karakterizacijskih tehnik za določitev kristalne strukture kvazikristalnega aproksimanta tipa Tsai (vir: <https://doi.org/10.1002/ijch.202300117>)

Mineralogija

Raziskovalna skupina, ki se ukvarja s študijami dvojčenja aragonita v okviru bilateralnega projekta NKFIH-ARRS N1-0230: Aragonit: Struktura in nastanek (<https://www.ijs.si/ijsw/ARRSProjekti/2022/Aragonit%3A%20struktura%20in%20nastanek>) v sodelovanju s Panonsko univerzo v Vesprému na Madžarskem, je v preteklem letu proučevala nastanek aragonita iz Mg-obogatenih raztopin. Rezultati so pokazali, da aragonit že v svoji nukleacijski fazi kristalizira kot ciklično zdvojen agregat.

V sodelovanju s sodelavci s Sobolevega inštituta za geologijo in mineralogijo v Novosibirsku smo pokazali, da se nizkotemperaturni aragoniti anorganskega izvora sistematično dvojijo in zvijajo iz doslej neznanega razloga, medtem ko visokotemperaturni aragonit ni dvojčen. Nadaljevali smo raziskave Hiragi-Makovicky reflektsov in njihove zveze z dvojčenjem aragonita.

V sodelovanju z Oddelkom za litosferske raziskave Univerze na Dunaju smo v okviru bilateralnega projekta FWF-ARRS N1-0115 (GInA): *Mineralni vključki v granatah od makroskopskega do atomarnega nivoja – odpiranje petrogenetskega arhiva* (<https://www.ijs.si/ijsw/ARRSProjekti/2019/Vklju%C4%8DKi%20v%20granatih%20od%20makroskopskega%20do%20atomarnega%20nivoja%3A%20Odpiranje%20petrogenetskega%20arhiva>) odkrili potencialno nov mineral iz apatitne skupine. Mineral se pojavlja kot primarni vključek v granatih pegmatitnega izvora. Strukturo smo določili z elektronsko difrakcijo, EDS in Rietveldovo analizo praškovno rentgenskih posnetkov. Nov mineral preiskujemo v sodelovanju z različnimi

raziskovalnimi skupinami, ki ugotavljajo njegove strukturne, mineraloške in fizikalne lastnosti.

V sodelovanju z Naravoslovnotehniško fakulteto smo pripravili vzorce za preiskavo mikro diamantnih faz, ki se kot vključki pojavljajo v granatnih zrnih pohorskega gnajsa za analizo s pomočjo presevnega elektronskega mikroskopa (TEM). Mikro diamantne faze smo najprej določili z ramansko spektroskopijo in tehniko vrstične elektronske mikroskopije (SEM).

Napredna elektronska mikroskopija

Zagovarjamo pristop vključenosti v raziskovalno verigo od sinteze materialov prek strukturno-kemijske karakterizacije do razumevanja končnih fizikalnih lastnosti, podprto s teoretičnimi izračuni s pomočjo modeliranja na kontinuumski in atomarni ravni, pri čemer elektronsko strukturo obravnavamo na osnovi teorije gostotnih funkcionalov (DFT).

Visokoločljivostni STEM – preiskovali smo sistem kompleksne zlitine na osnovi Au-Si in elementa redke zemlje, ki spada v skupino 1/1 Tsai vrste kvazikristalnih aproksimantov. Pokazali smo, da je s korelacijo kontrasta med eksperimentalno pridobljenimi atomsko ločljivostnimi STEM-posnetki ob uporabi visokotnega obročastega detektorja za opazovanje vzorca v temnem polju (HAADF-STEM) in z ustreznimi teoretično izračunanimi slikami na osnovi predvidenega kristalnega modela mogoče določiti prisotnost elementa redke zemlje in lokalne popačitve koordinacijskih poliedrov na preiskovanem strukturnem mestu v kristalu (slika 20). Rezultati te študije so bili objavljeni v *Israel Journal of Chemistry* (<https://doi.org/10.1002/ijch.202300117>).

In-situ TEM s pomočjo tekočinske celice (LTEM) – nedavni razvoj TEM-nosilcev za tekočinske celice omogoča proučevanje nukleacije in rasti različnih nanomaterialov v realnem času in neposredno v pogojih sinteze. Tovrstni specializirani nosilci vsebujejo tekočinske celice, ki lahko

zadržijo tekočino znotraj celice, ločeno od visokega vakuumu v elektronskem mikroskopu. Slednje omogoča opazovanje dinamičnih procesov v nanomaterialih z uporabo klasičnih TEM-tehnik zajema slik, elektronske difrakcije in spektroskopije. V okviru teh raziskav se osredotočamo na bazično razumevanje nukleacijskih procesov v pogojih elektrokemijske sinteze s pomočjo uporabe TEM tekočinskih celic z mikroelektrodami, natisnjenimi na čip, pri visoki prostorski in časovni ločljivosti (*in-situ* EC-LTEM).

V okviru skupnega SLO-FWO projekta tako proučujemo procese elektrokemijske nukleacije in odtapljanja različnih tehnološko pomembnih kovinskih nanodelcev, kot so Au, Ag, Pt in Pd. V primeru Au sistema smo pokazali, da se Au nanodelci v potenciostatičnih pogojih raztapljajo neenakomerno in z različno dinamiko, kot posledica strukturno heterogenih jedro-lupina nanodelcev. Lupina, ki je korozijsko bolj odporna, zavre proces raztapljanja kovinskega jedra. Ta pojav je razviden na sliki 21, kjer je neenakomerno raztapljanje različnih Au nanodelcev označeno z obarvanimi prekinjenimi krogi. Te študije nudijo poglobljen vpogled v razumevanje kompleksnega, stohastičnega obnašanja raztapljanja Au nanodelcev, ki ga ni bilo mogoče enoznačno pojasniti zgolj s klasičnimi elektrokemijskimi preiskovalnimi metodami. Več informacij o teh raziskavah je zajetih v okviru webinarja, ki ga je članica naše skupine predstavila v okviru projekta ESTEEM3 (https://www.youtube.com/watch?v=m4ZHW7JXoks&t=1472s&ab_channel=ESTEEM3Project).

V okviru ESTEEM3 konzorcija (Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy – <https://www.esteem3.eu/>) smo nadaljevali aktivnosti pri razvoju različnih najsodobnejših tehnik presevnne elektronske mikroskopije (TEM) in karakterizacije materialov. Raziskovalna skupina ostaja tesno povezana z dejavnostmi znotraj Centra za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM), predvsem na področju sodelovanja pri razvoju različnih tehnik elektronske mikroskopije ter z možnostjo dostopa raziskovalcev do raziskovalne infrastrukture za elektronsko mikroskopijo.

Izobraževanje in promocija znanosti

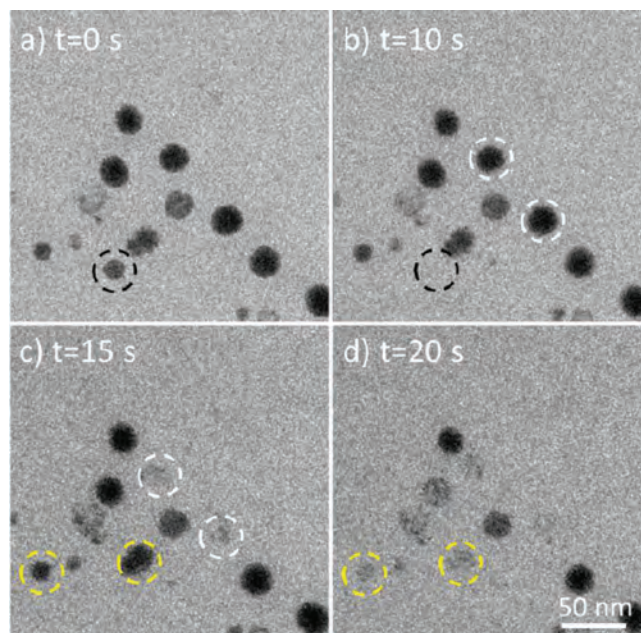
Sodelavci odseka smo kot vsako leto sodelovali pri aktivnostih promocije znanosti v sklopu projekta Znanost na cesti (ZnC) (<https://znc.si/>). Leto 2023 je zaznamovalo praznovanje 10. obletnice Znanosti na cesti, ki se je zaključilo z dogodkom v Atriju ZRC. Skupaj smo izvedli 17 javnih dogodkov, od tega 13 poljudnoznanstvenih predavanj. Predavanja smo izvedli v živo in prek spleta iz Atrija ZRC, Knjižnice v Kranju, Knjižnice v Izoli, iz Dvorca Lanthieri, v Vipavi, iz Xcentra v Novi Gorici, iz Desnega atrija ljubljanske Mestne hiše in vrta hotela Bohinj v Ribčevem Lazu. Na spletni strani ZnC smo objavili 14 blogov raziskovalcev in raziskovalcev ter tri nagradne natečaje. V sodelovanju z Odsekom za nanostrukturne materiale smo v okviru projekta SUSMAGPRO (<https://www.susmagpro.eu/>) in v sodelovanju z Mestno občino Ljubljana organizirali razstavo z naslovom *Naredi nov magnet z reciklažo starih magnetov* v atriju ljubljanske mestne hiše.

Dejavnosti Strateško-razvojnega inovacijskega partnerstva – Tovarne prihodnosti (SRIP ToP), vertikalne verige vrednosti Napredne zelene tehnologije

V okviru vertikalne verige vrednosti *Napredne zelene tehnologije*, ki vključuje področji senzorike in magnetnih materialov, smo izvedli aktivnosti, vezane na pripravo novih akcijskih načrtov za leto 2024. Organizirali smo sestanke s predstavniki podjetij in z drugimi SRIP-i.

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Projektni sestanek in delavnica RECO2MAG: Novel grain boundaries engineered resource efficient Nd-Fe-B permanent magnets (PMs), v okviru mreže EIT RawMaterials, Lipica, 17.–19. januar 2023
2. 1. Letna konferenca odseka K7, Rogla, 28. februar–2. marec 2023
3. Projektni sestanek skupine za razvoj 4D mikroskopskih tehnik: 4D STEM Meeting, Ljubljana, 9. marec 2023
4. Mednarodna delavnica in projektni sestanek SUSMAGPRO: Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in a Circular Economy, Ljubljana, 19.–23. april 2023
5. Mednarodna delavnica AdSTEM3: 3rd Advanced School on Scanning Transmission Electron Microscopy, v okviru projekta ESTEEM3, Piran, 14.–18. maj 2023



Slika 21: Elektrokemijsko raztapljanje Au-nanodelcev. Barvni prekinjeni krogi označujejo časovno neenakomerno raztapljanje Au-nanodelcev.

6. Predstavitveni sestanek sodelavcev IJS na področju katalize: JSI meeting on catalysts synthesis, characterization and applications, Ljubljana, 25. maj 2023
7. Projektni sestanek skupine za razvoj visoko učinkovitih senzorjev za zaznavanje obstojnih in mobilnih kemikalij v okolju: Development of High Performance Sensors for Detection of Persistent and Mobile Chemicals in the Environment (SENSE-PMC), Ljubljana, 30. maj 2023
8. Projektni sestanek konzorcija projekta M24 PASSENGER: Pilot Action for securing a Sustainable European Next Generation Efficient RE-free Magnets (soorganizacija dogodka z odsekom K8), Ljubljana, 31. maja–1. junija 2023
9. Projektni sestanek skupine za razvoj 4D mikroskopskih tehnik: 4D STEM Meeting, Ljubljana, 7. september 2023
10. Konferenca MIDE 2023: 58th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials with the Workshop on Chemical sensors: materials and applications, Lipica, 27. –29. september 2023
11. Sestanek ekspertne skupine na področju raziskave raka: Misija – rak, Ljubljana, 11. oktober 2023
12. Mednarodna delavnica in letni projektni sestanek ATHENA: An exposition on the foreign information manipulation and interference (soorganizacija dogodka z odsekom K3), Ljubljana, 17.–18. november 2023
13. Mednarodni dogodek Innovation Day in Ljubljana s predstavitvijo projekta aProMag: Anisotropic fast prototyping of magnetic materials, v okviru mreže EIT Manufacturing (soorganizacija dogodka s SRIP ToP), Ljubljana, 6. december 2023

Nagrade in priznanja

1. **dr. Nina Kostevšek** je prejemnica nagrade za najboljšo predstavitev z naslovom: *Magneto-Erythrocyte Membrane Vesicles as T2 MRI Contrast Agents* na predavanju *Nanotechnology for Imaging, Sensing and Diagnostics* na konferenci BioNanoMed2023 v Gradcu, Avstrija. Nagrado podeljuje NanoMedicine-Austria in BioNanoNet Forschungsgesellschaft mbH (BNN), Avstrija.
2. **Prejemnik nagrade Jean-Marie Dubois** (poimenovana po našem kolegu iz odseka K7) za pomembne, trajne raziskave o kateremkoli vidiku kvazikristalov je **prof. dr. Michael Baake** z Univerze v Bielefeldu. Nagrado podeljuje Državna univerza v Iowi, Združene države Amerike.
3. **Tina Radošević** je prejemnica nagrade za najboljšo predstavitev posterja z naslovom: *Photocatalytic degradation of synthetic textile microplastic fibers with TiO₂ as photocatalysts* na 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T) v Portorožu. Nagrado podeljuje Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (IMT) iz Ljubljane.
4. **Monika Kušter** je prejemnica nagrade za najboljšo predstavitev z naslovom: *Composite material on polymer matrix reinforced with Al-based Quasycrystal powder* na 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T) v Portorožu. Nagrado podeljuje Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (IMT) iz Ljubljane.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Mikrovalovni heksaferiti
Antistat GmbH
dr. Petra Jenuš Belec
2. COST CA17140; Nano2Clinic - Nanomedicina raka - od laboratorijskih raziskav do klinične uporabe
COST Association AISBL
doc. dr. Nina Kostevšek
3. H2020 - ESTEEM3; Razvoj znanosti in tehnologije v povezavi z evropsko elektronsko mikroskopijo
European Commission
prof. dr. Miran Čeh
4. H2020 - SUSMAGPRO; Trajnostna obnova, predelava in ponovna uporaba magnetov redkih zemelj v krožnem gospodarstvu
European Commission
prof. dr. Spomenka Kobe
5. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Spomenka Kobe
6. H2020 - ORACLE; Napredne sintetske poti in katalizatorji za sintezo amonjaka kot alternativnega obnovljivega goriva
European Commission
prof. dr. Andraž Kocjan
7. H2020 - PASSENGER; Pilotna akcija za zagotovitev nove generacije učinkovitih trajnostnih magnetov brez redkih zemelj v Evropi
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
8. H2020 - OCARINA; Novi načini recikliranja in ponovnega procesiranja trajnih magnetov
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
9. EIT RM; INSPIRES - Inteligentno in trajnostno procesiranje inovativnih magnetov redkih zemelj
EIT RawMaterials e.V.
prof. dr. Spomenka Kobe
10. OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
dr. Petra Jenuš Belec
11. OE - EUROfusion; WP21: PRD-1,2_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Iveković
12. EIT RM; RECO2MAG - Trajni magneti Nd-Fe-B, zasnovani preko inženiringa mej med zrni
EIT RawMaterials e.V.
prof. dr. Kristina Žužek
13. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
14. OE - REESilience; Vzdržne in trajnostne dobavne verige surovin kritičnih elementov redkih zemelj za e-mobilnost in ekosisteme obnovljive energije ter za strateške sektorje
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek

15. OE - GYROMAGS; Zelene poti recikliranja brusnega blata magnetov na osnovi sistema Sm-Co
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
16. OE - HEO4CAT; Razvoj novih visokoentropijskih oksidnih katalizatorjev z anodno oksidacijo visokoentropijskih zlitin
European Commission
Belisa Alcantara Marinho, PhD., Portugalska
17. EIT M; aProMag - Hitra izdelava prototipov anizotropnih magnetnih materialov
EIT Manufacturing ASBL
prof. dr. Spomenka Kobe
18. COST CA21121; MecaNano - Evropska mreža za mehanske lastnosti materialov v nano področju
COST Association AISBL
prof. dr. Sašo Šturm
19. Pravice in obveznosti z zvezi z razvojem, uporabo in komercializacijo hidrotermalno sintetiziranih prevlek iz TiO₂ na kovinskih ortopedskih in zobnih vsadkih
ID Creations
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
15. 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravni
prof. dr. Sašo Šturm
16. Hitro radiacijsko sintranje 3D tiskane keramike
prof. dr. Andraž Kocjan
17. CerAM-Heat: Aditivna proizvodnja porozne keramike iz polimernih prekurzorjev, ki omogoča magnetno gretje in elektrifikacijo kemijskih procesov
dr. Aljaž Iveković
18. Eritrocitne membrane kot nano-nosilci za gensko terapijo za zdravljenje raka
doc. dr. Nina Kostevšek
19. Novi pretočni fotoelektrokatalitski reaktorji za razgradnjo farmacevtikov v odpadnih vodah
prof. dr. Miran Čeh
20. Prenosni, visoko občutljivi in specifični nanostrukturirani biosenzorji za hitro detekcijo virusov
dr. Špela Trafela
21. Stabilnost in tvorba inverznih mej v ZnO: DFT in eksperimentalno presejanje novih dopantov, ki tvorijo inverzne meje
Vesna Ribič, PhD., Srbija
22. Dinamične fazne formacije in razvoj elektrokatalizatorjev za izboljšano zajemanje in pretvorbo ogljika
Sorour Semsari Parapari, PhD, Turčija
23. RECEMENT: Ponovna proizvodnja (surovin) in izrabljenih izdelkov za ponovno uporabo v cementu / betonu
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Sašo Šturm
24. AddMag - Izdelava trajnih magnetov z dodajalno tehnologijo
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
doc. dr. Matej Andrej Komelj
25. Fuzijske tehnologije
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
26. Bio-interactive support materials for coral restoration
dr. Anže Abram
27. Manjše storitve za tujino
dr. Zoran Samardžija
28. Zunanje servisne usluge
prof. dr. Andraž Kocjan
29. Evropska šola o 4D STEM slikanju - AdSTEM3, 14. maj - 18. maj 2023, Piran, Slovenija
prof. dr. Miran Čeh
30. Razvojni steber financiranja
prof. dr. Sašo Šturm

PROGRAMI

1. Nanostrukturni materiali
prof. dr. Sašo Šturm
2. Keramični in komplementarni materiali za napredne inženirske in biomedicinske aplikacije
prof. dr. Andraž Kocjan
3. Fuzijske tehnologije
prof. dr. Saša Novak Krmpotič

PROJEKTI

1. Napredni 3D celični modeli: Premostitev vrzeli med in vitro in in vivo poskusnimi sistemi (hep3DGenTox)
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
2. Poobsevalni karies pri pacientih z rakom glave in vratu: vzroki in preprečevanje
prof. dr. Andraž Kocjan
3. Razgradnja plastike s poliektremotolerantnimi glivami
dr. Matejka Podlogar
4. Modulacija polifenolnega profila v sadju s trajnostnimi fizikalnimi poobiralnimi postopki
dr. Anže Abram
5. Predklinične in klinične raziskave cirkonijeve oksidne keramike izdelane s tehnologijami aditivnega oblikovanja
prof. dr. Andraž Kocjan
6. Razvoj novih večfunkcionalnih nanocimov na osnovi kovinskih oksidov in njihova toksikološka karakterizacija (NaNoZymSafe)
dr. Petra Jenuš Belec
7. Temeljno razumevanje reakcije tvorbe vodika za novo generacijo elektrokatalizatorjev na osnovi niklja v alkalni in kloralkalni elektrolizi
prof. dr. Sašo Šturm
8. Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
doc. dr. Matej Andrej Komelj
9. Napovedovanje nukleacijskih procesov elektrokemijske tvorbe faz s kombinacijo in situ elektronske mikroskopije in večstopenjskim modeliranjem
prof. dr. Sašo Šturm
10. Ploskovne napake v naravnih in sintetiziranih perovskitnih oksidih: nanogeokemijski indikatorji in funkcionalne medpovršine
prof. dr. Aleksander Rečnik
11. Razvoj visoko učinkovitih senzorjev za zaznavanje obstojnih in mobilnih kemikalij v okolju (SENSE-PMC)
doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik
12. Aragonit: struktura in nastanek
prof. dr. Aleksander Rečnik
13. Funkcionalno gradientni materiali z medsebojno prepleteno strukturo kovin, ki se ne mešajo
dr. Aljaž Iveković
14. Jedrsko sevanje kot katalizator kemijskih procesov
prof. dr. Sašo Šturm

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L2-1829 Sofinanciranje L projekta: Razvoj večkomponentnih trajnih magnetov kompleksnih oblik z uporabo napredne tehnologije 3D tiskanja
Kolektor Group, d. o. o.
prof. dr. Spomenka Kobe
2. L2-2614 Sofinanciranje L projekta: Novi pretočni fotoelektrokatalitski reaktorji za razgradnjo farmacevtikov v odpadnih vodah
ARHEL projektiranje in inženiring, d. o. o.
prof. dr. Miran Čeh
3. Razvoj in optimizacija varistorske keramike ter volumskih in večplastnih (MLV) varistorjev
Bourns, d. o. o., Žužemberk
prof. dr. Slavko Bernik
4. Materialna karakterizacija biofarmacevtskih produktov in primarne ovojnine Lek, d. d.
prof. dr. Sašo Šturm
5. Spremljanje procesa izdelave varistorske keramike in varistorjev
Raycap, d. o. o.
prof. dr. Slavko Bernik
6. Razvoj in optimizacija varistorske keramike ter procesnih parametrov izdelave volimskih
Bourns, d. o. o., Žužemberk
prof. dr. Slavko Bernik
7. Spremljanje procesa izdelave varistorske keramike in varistorjev -2
Raycap, d. o. o.
prof. dr. Slavko Bernik
8. Meritve VSM, XRD, TEM in CoNiP
RLS Merilna tehnika, d. o. o.
prof. dr. Sašo Šturm

OBISKI

1. Anna Katharina Hofer, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 19.–20. januar 2023
2. Bart Stegeman, EIT Climate-KIC HUB, Slovenija, Ptuj, Slovenija, 2. februar 2023
3. Martina Kocijan, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 13.–14. februar 2023
4. Alba Berja Torres, Instituto de cerámica y Vidrio (CSIC/ICV), Madrid, Španija, 1. marec–31. maj 2023
5. prof. dr. Carlo Burkhardt, Hochschule Pforzheim, Pforzheim, Nemčija, 18. april–20. maj 2023
6. dr. Johann Fischbacher, dr. Alexandr Grushko, prof. dr. Thomas Schrefl, Universität für Weiterbildung Krems, Krems an der Donau, Avstrija, 24.–25. april 2023
7. Yasemin Akyol, prof. dr. Mehmet Ali Gülgün, Melike Nur Önden, Sabanci University, Faculty of Engineering and Natural Engineering, Tuzla (Istanbul), Turčija, 18.–20. maj 2023
8. Anna Katharina Hofer, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 22.–25. maj 2023
9. Ana Laura Coria Gutierrez, Institute of Chemistry for Life and Health Sciences (I-CLeHS, SEISAD), Pariz, Francija, 25.–27. maj 2023
10. Katarina Tomić, Univerza v Beogradu, Beograd, Srbija, 5. junij–31. avgust 2023
11. prof. dr. Larisa Soldatova, Goldsmiths, University of London, London, Združeno kraljestvo, 8. junij 2023
12. Wilfried Bajoun Mbajoun, dr. Pascal Boulet, dr. Vincent Fournee, dr. Julian Ledieu, Jules Valentin, Julien Zollinger, Institut Jean Lamour – Universitet de Lorraine, Nancy, Francija, 12.–16. junij 2023
13. Bertrand Morel, Véronique Peres, Benoit Richebe, Orano, Châtillon, Hauts-de-Seine, Francija, 19. junij 2023
14. Paul Barends, Prachi Vyas, Thermo Fisher Scientific, Eindhoven, Nizozemska, 27. junij 2023
15. Kinza Jamil, Marukh Javed, Mke Kekung, Tsering Wangmo, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija, 3. julij–31. avgust 2023
16. Agata Knabe, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, Poljska, 10. julij–10. september 2023
17. Russel Hardy, dr. Nynke Krans, Protophys, Morrisville (NC), Združene države Amerike, 8.–9. avgust 2023
18. dr. Andrea Bachmaier, prof. dr. Jürgen Eckert, Erich Schmid Institute of Materials Science, Austrian Academy of Sciences in Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 17.–18. september 2023
19. Laura Grau, Hochschule Pforzheim, Pforzheim, Nemčija, 17. september–17. oktober 2023
20. dr. Sanaa Chemchoub, Mohamed El Marini, Monica Parpal Gimenez, Daniel Torres, prof. dr. Jon Ustarroz, Université Libre de Bruxelles, Bruselj, Belgija; Hanieh Jafarian, University of Vienna, Dunaj, Avstrija, 24. september–2. oktober 2023
21. prof. dr. Cristian Fabrega, University of Barcelona, Electronics and Biomedical Engineering, Barcelona, Španija; prof. dr. Caroline Duc, Institut Mines-Télécom, Department for Environment and Energy, Douai, Francija, 26.–29. september 2023
22. Vojtěch Mařák, Brno University of Technology, Central European Institute of Technology, Brno, Češka, 2.–20. oktober 2023
23. prof. dr. Mehmet Ali Gülgün, Sabanci University, Faculty of Engineering and Natural Engineering, Tuzla (Istanbul), Turčija, 2.–31. oktober 2023
24. Mieszko Gostawski-Zeligowski, Lodz University of Tehnology, Lodz, Poljska, 2. oktober–15. december 2023
25. dr. Ahmed Alsadig, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija, 4.–6. oktober 2023
26. Ritika Arora, Punjabi University Patiala, Punjab, Indija, 16. november 2023–14. februar 2024
27. Wilfried Bajoun Mbajoun, dr. Pascal Boulet, dr. Vincent Fournee, dr. Emilie Gaudry, dr. Julian Ledieu, Vipin Kumar Singh, Weiliang MA, Institut Jean Lamour – Universitet de Lorraine, Nancy, Francija, 30. november–2. december 2023
28. dr. Kevin Varghese Alex, International & Inter-University Centre for Nanoscience & Nanotechnology, Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala, Indija, 3.–5. december 2023
29. Daria Jardaš Babić, Sveučilište u Rijeci, Univerze v Rijeki, Rijeka, Hrvatska, 8. december 2023–14. junij 2024

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Jelena Vujančević, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Modification of structure and photoactivity of TiO₂ nanotubes, 18. januar 2023
2. dr. Nina Kostevšek, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Theranostic (therapeutic + diagnostic) magneto liposomes, 22. marec 2023
3. Layrtton José Souza Da Silva, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Dynamic studies of nucleation and early growth stages of metals by using electrochemical liquid cell transmission electron microscopy, 7. april 2023
4. Nikhil Bhootpur, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Rapid sintering of complex shaped multi functional ceramic components, 12. maj 2023
5. Mihaela Rebernik, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Grain boundary engineering of Nd Fe B permanent magnets, 12. maj 2023
6. Barbara Ljubec Božiček, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Novel synthesis of a (COFENIMNCR) 3 O 4 high entropy oxide on a COFENIMNCR high entropy alloy for an oxygen evolution reaction, 6. september 2023
7. dr. Andrea Bachmaier in prof. dr. Jürgen Eckert, Erich Schmid Institute of Materials Science, Austrian Academy of Sciences in Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija:

Research at ESI Leoben-From Fundamental Research to Application of Advanced Materials, 18. september 2023

8. Diana Knyzhnykova, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Development of functionally graded W-CU composite, 18. september 2023
9. Vinko Sršan, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Flavours of electron ptychograph Y, 3. oktober 2023
10. dr. Ahmed Alsadig, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija: Harnessing the Plasmonic Properties of Gold Nanoparticles: Functionalization Strategies Coupled with Novel Spectroscopic Tools, 6. oktober 2023
11. prof. dr. Mehmet Ali Gülgün, Sabanci University, Faculty of Engineering and Natural Engineering, Tuzla (Istanbul), Turčija: Influence of (Alkali) cations on the phase transformations from G to A alumina, 26. oktober 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Anže Abram, Delavnica AIMed ECeS 2023 Winter School – European Ceramic Society, Zagreb, Hrvatska, 22.–23. februar 2023 (1)
2. Anže Abram, Belisa Alcantara Marinho, Slavko Bernik, Nikhil Bhootpur, Sabina Cintauer, Miran Čeh, Giulia Della Pelle, Darko Eterović, Nik Gračanin, Aljaž Iveković, Petra Jenuš Belec, Sina Khoshshima, Diana Knyzhnykova, Andraž Kocjan, Andrej Matej Komelj, Klara Laura Konda, Nina Kostevšek, Abhilash Krishnamurthy, Monika Kušter, Barbara Ljubec Božiček, Amit Mishra, Ipek Naz Özden Moser, Matejka Podlogar, Benjamin Podmiljšak, Mihaela Rebernik, Sorour Semsari Parapari, Layrtton José Souza Da Silva, Vinko Sršan, Marija Šebjan Pušenjak, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, Špela Trafela, Aleksander Učakar, Anubhav Vishwakarma, Jelena Vujančević, Milan Vukšić, Kristina Žagar Soderžnik, Kristina Žužek, 1. Letna konferenca odseka K7, Rogla, 28. februar–2. marec 2023 (38)
3. Anže Abram, Delavnica BioCAM – Additive Manufacturing Applied to Bioceramics, Mons, Belgija, 5.–9. december 2023 (1)
4. Belisa Alcantara Marinho, Miran Čeh, Barbara Ljubec Božiček, Živa Marinko, delovni sestanek v podjetju Arhel, d. o. o., Žeje pri Komendi, 24. januar 2023 (3)
5. Belisa Alcantara Marinho, Sorour Semsari Parapari, 35th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Gold Coast, Avstralija, 7.–10. maj 2023 (2)
6. Belisa Alcantara Marinho, Miran Čeh, Barbara Ljubec Božiček, Karlova univerza v Pragi, Fakulteta za matematiko in fiziko, Praga, Češka republika, 5.–7. junij 2023 (3)
7. Belisa Alcantara Marinho, Muhammad Shahid Arshad, Vinko Sršan, European Summer School on Artificial Intelligence, Ljubljana, 24.–28. julij 2023 (3)
8. Belisa Alcantara Marinho, Lara Einfalt, Barbara Ljubec Božiček, delovni obisk na Institutu Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska, 23. november 2023 (3)
9. Belisa Alcantara Marinho, Muhammad Shahid Arshad, Fabian Alen Burkhardt, Aljaž Iveković, Spomenka Kobe, Monika Kušter, Abhilash Krishnamurthy, Amit Mishra, Matejka Podlogar, Benjamin Podmiljšak, Mihaela Rebernik, Sorour Semsari Parapari, Sašo Šturm, Anubhav Vishwakarma, Jelena Vujančević, Kristina Žužek, Udeležba na Innovation Day Ljubljana, Ljubljana, 6. december (16)
10. Muhammad Shahid Arshad, Fabian Alen Burkhardt, Sina Khoshshima, Spomenka Kobe, Amit Mishra, Benjamin Podmiljšak, Mihaela Rebernik, Anubhav Vishwakarma, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, 27th International Workshop on Rare Earth and Future Permanent Magnets and their Applications, Birmingham, Velika Britanija, 3.–7. september 2023 (10)
11. Muhammad Shahid Arshad, projektni sestanek EIT Manufacturing Summit 2023, Bruselj, Belgija, 19.–22. november 2023 (1)
12. Slavko Bernik, Slovenska konferenca o čipih in polprevodnikih (SLO-čip 2023), Ljubljana, 24. januar 2023 (1)
13. Slavko Bernik, delovni sestanek v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 9. februar 2023 (1)
14. Slavko Bernik, delovni sestanek v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 9. marec 2023 (1)
15. Slavko Bernik, delovni sestanek v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 21. april 2023 (1)
16. Slavko Bernik, Matejka Podlogar, 7th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Srbija, 14.–16. junij 2023 (2)
17. Slavko Bernik, delovni sestanek v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 5. julij 2023 (1)
18. Slavko Bernik, Miran Čeh, Abhilash Krishnamurthy, Matejka Podlogar, Neža Sodnik, Špela Trafela, Jelena Vujančević, Kristina Žagar Soderžnik, 58th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials with the Workshop on Chemical sensors: materials and applications (MIDEM), Lipica, 27.–29. september 2023 (8)
19. Nikhil Bhootpur, Giulia Della Pelle, Diana Knyzhnykova, Spomenka Kobe, Nina Kostevšek, Kristina Žagar Soderžnik, 15th Jožef Stefan International Postgraduate School Student Conference (IPSSC), Kamnik, 31. maj–2. junij 2023 (6)
20. Nikhil Bhootpur, 15th ECeS Conference for Young Scientists in Ceramics, Novi Sad, Srbija, 11.–14. oktober 2023 (1)
21. Fabian Alen Burkhardt, Amit Mishra, Benjamin Podmiljšak, Kristina Žužek, Workshop on magnetic materials and applications, Hanau, Nemčija, 7.–10. november 2023 (4)
22. Fabian Alen Burkhardt, Sašo Šturm, Kristina Žužek, delovni obisk na Fraunhofer Research Institution for Materials Recycling and Resource Strategies IWKS, Hanau, Nemčija, 26.–28. november 2023 (3)
23. Miran Čeh, sestanek glede organizacije Advanced School on Scanning Transmission Electron Microscopy (AdSTEM3), Piran, 21. april 2023 (1)

24. Miran Čeh, Nik Gračanin, Sorour Semsari Parapari, Layrton José Souza Da Silva, Vinko Sršan, Sašo Šturm, Aleksander Učakar, Kristina Žagar Soderžnik, Advanced School on Scanning Transmission Electron Microscopy (AdSTEM3), Piran, 14.–18. maj 2023 (8)
25. Miran Čeh, Sašo Šturm, Final Even of Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy (ESTEEM3), Pariz, Francija, 31. maj 2023 (2)
26. Miran Čeh, Klara Laura Konda, Monika Kušter, Matejka Podlogar, Tina Radošević, Aleksander Učakar, 28th International Conference on Materials and Technology (28 ICM&T), Portorož, 11.–13. oktober 2023 (6)
27. Giulia Della Pelle, 8th edition of Nanotech France 2023 International Conference and Exhibition, Pariz, Francija, 28.–30. junij 2023 (1)
28. Jean-Marie Dubois, vabljen predavanje na Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 12. marec 2023 (1)
29. Nik Gračanin, Matejka Podlogar, 6th Workshop of the European Focused Ion Beam Network (EUFN), Zürich, Švica, 7.–9. junij 2023 (2)
30. Aljaž Iveković, delovni sestanek v podjetju ReDisc, d. o. o., Novo mesto, 6. april 2023 (1)
31. Aljaž Iveković, Diana Knyzhnykova, 19th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, Bonn, Nemčija, 22.–26. maj 2023 (2)
32. Aljaž Iveković, Diana Knyzhnykova, Saša Novak Krmpotič, International Conference NENE Nuclear Energy for New Europe 2023, Portorož, 11.–14. september 2023 (3)
33. Aljaž Iveković, udeležba na AM Ceramics Conference, Dunaj, Avstrija, 27.–29. september 2023 (1)
34. Aljaž Iveković, Andraž Kocjan, delovni sestanek v podjetju Akrapovič, d. d., Ivančna Gorica, 19. december 2023 (2)
35. Petra Jenuš Belec, Benjamin Podmiljšak, 4th edition of the International Conference IEEE Advances in Magnetism (AIM2023), Moena, Italija, 15.–18. januar 2023 (2)
36. Sina Khoshsima, Amit Mishra, Mihaela Rebernik, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru projekta Novel grain boundaries engineered resource efficient Nd-Fe-B permanent magnets (PMS) (RECO2MAG), Lipica, 17.–19. januar 2023 (6)
37. Sina Khoshsima, delovni sestanek v podjetju Magneti, d. d., Ljubljana, 23. januar 2023 (1)
38. Sina Khoshsima, delovni sestanek v podjetju Magneti, d. d., Ljubljana, 21. marec 2023 (1)
39. Sina Khoshsima, vabljen predavanje na International Conference on Materials Science and Engineering, Pariz, Francija, 27.–28. marec 2023 (1)
40. Sina Khoshsima, Mihaela Rebernik, Kristina Žužek, udeležba na Solutions for CRITICAL Raw materials – a European Expert Network Symposium (SCRREEN), Ljubljana, 30. marec 2023 (3)
41. Sina Khoshsima, Mihaela Rebernik, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, udeležba na Rare Earth Industry Association (REIA) Annual Conference 2023, Barcelona, Španija, 21.–23. junij 2023 (5)
42. Sina Khoshsima, delovni sestanek v podjetju ELPRO Lepenik & Co., d. o. o., Miklavž na Dravskem polju, 5. oktober 2023 (1)
43. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, Projektni sestanek Intelligent and Sustainable Processing of Innovative Rare-Earth Magnets (INSPIRES), Madrid, Španija, 25.–27. januar 2023 (5)
44. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, Sašo Šturm, Kick-off sestanek v okviru projekta Anisotropic fast prototyping of magnetic materials (aProMag), Idrija, 15.–17. februar 2023 (3)
45. Spomenka Kobe, 3rd Global Summit and Expo on Magnetism and Magnetic Materials (GSEMMM2023), Bruselj, Belgija, 22.–24. maj 2023 (1)
46. Spomenka Kobe, Sašo Šturm, delovni sestanek v podjetju TALUM Tovarna aluminija, d. d., Kidričevo, 25. maj 2023 (2)
47. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, Tomaž Tomše, delovni sestanek v okviru projekta Intelligent and Sustainable Processing of Innovative Rare-Earth Magnets INSPIRES M27 Meeting, Bruselj, Belgija, 13.–15. junij 2023 (3)
48. Spomenka Kobe, Sašo Šturm, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru konzorcija za Rare Earths and Magnets Innovation Hub, Leuven, Belgija, 26.–28. september 2023 (3)
49. Spomenka Kobe, udeležba na dogodku Dan inovacij Adria, Brdo pri Kranju, 7. november 2023 (1)
50. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, delovni sestanek ob zaključku projekta Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in a Circular Economy (SUSMAGPRO), Bruselj, Belgija, 13.–17. november 2023
51. Andraž Kocjan, vabljen predavanje na konferenci Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Annual Meeting & Exhibition, San Diego, California, Združene države Amerike, 19.–23. marec 2023 (1)
52. Andraž Kocjan, Aleksander Učakar, Milan Vukšić, Delavnica Young Ceramics Network (YCN) v okviru European Ceramic Society (ECERS), Aveiro, Portugalska, 19.–21. april 2023 (3)
53. Andraž Kocjan, vabljen predavanje na Summer School Non-conventional sintering: science and technology, Trento, Italija, 5.–7. junij 2023 (1)
54. Andraž Kocjan, Aleksander Učakar, XVIIIth Conference of the European Ceramic Society (ECERS), Lyon, Francija, 2.–6. julij 2023 (2)
55. Andraž Kocjan, delovni sestanek na Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Struktur- und Funktionskeramik, Leoben, Avstrija, 8.–9. avgust 2023 (1)
56. Andraž Kocjan, delovni sestanek v okviru konzorcija za Nature-inspired antimicrobial biomaterials for regenerative medicine (ReBIND), Leuven, Belgija, 19. september 2023 (1)
57. Andraž Kocjan, vabljen predavanje Next Generation Biomaterials, v okviru konference Materials Science & Technology, Columbus, Ohio, Združene države Amerike, 3.–4. oktober 2023 (1)
58. Andraž Kocjan, delovni sestanek na Medicinski fakulteti Univerze v Mariboru, 17. oktober 2023 (1)
59. Andraž Kocjan, Sašo Šturm, udeležba na Strateških dnevih IJS, Portorož, 7.–8. november 2023
60. Andraž Kocjan, delovni sestanek v podjetju Interdent, d. o. o., Celje, 23. november 2023 (1)
61. Matej Andrej Komelj, vabljen predavanje na University Greater Noida – Shiv Nadar (New Delhi), Madan Mohan Malaviya University of Technology (MMMUT) – Gorakhpur, Indian Institute of Technology (IIT) – Indor, Indija, 13.–22. februar 2023 (1)
62. Klara Laura Konda, Matejka Podlogar, Tina Radošević, udeležba na *Prvem srečanju raziskovalcev mikroplastike v Sloveniji*, Ljubljana, 28. marec 2023 (3)
63. Klara Laura Konda, Matejka Podlogar, Tina Radošević, udeležba na *Posvetu o mikroplastiki*, Ljubljana, 14. november 2023 (3)
64. Nina Kostevšek, udeležba na *Training School on in vitro/in vivo and translationa aspects of cancer nanomedicines* v okviru projekta COST, Bellinzona, Švica, 12.–15. marec 2023 (1)
65. Nina Kostevšek, vabljen predavanje na 11th International Congress Nanotechnology in Biology & Medicine (BioNanoMed 2023), Gradec, Avstrija, 12.–14. april 2023 (1)
66. Nina Kostevšek, udeležba na kongresu European Association for Cancer Research (EACR), Torino, Italija, 12.–15. junij 2023 (1)
67. Nina Kostevšek, udeležba na dogodku *Grozđ zdravlje in misija rak v programu Obzorje*, Ljubljana, 11. september 2023 (1)
68. Nina Kostevšek, Abhilash Krishnamurthy, Benjamin Podmiljšak, udeležba na Slovenskih kemijskih dnevih (SKD) 2023, Portorož, 13.–14. september 2023 (3)
69. Nina Kostevšek, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na dogodku *Science and innovations – Slovenia – Italy*, Rim, Italija, 5.–6. december 2023 (2)
70. Abhilash Krishnamurthy, Jelena Vujančević, 5th Metallurgical and Materials Engineering Congress of South-East Europe, Trebinje, Bosna in Hercegovina, 7.–10. junij 2023 (2)
71. Monika Kušter, Nik Gračanin, Sorour Semsari Parapari, Layrton José Souza Da Silva, Vinko Sršan, udeležba na seminarju YOKOGUSHI, Ljubljana, 4. april 2023 (5)
72. Monika Kušter, Udeležba na konferenci European Integrated Center for the Development of New Metallic Alloys and Compounds (ECMetAC) Days 2023, Kranjska gora, 27.–30. november 2023 (1)
73. Barbara Ljubeč Božiček, 8th International Conference on Semiconductor Photochemistry, Strasbourg, Francija, 11.–15. september 2023 (1)
74. Amit Mishra, 8th International Conference on Materials Science & Engineering, Pariz, Francija, 21.–22. september 2023 (1)
75. Matejka Podlogar, Tina Radošević, udeležba na seminarju s področja IR spektroskopije in kromatografije proizvajalca PerkinElmer, Ljubljana, 7.–8. marec 2023 (1)
76. Matejka Podlogar, delovni sestanek v podjetju Gorenje, d. o. o., Velenje, 20. junij 2023 (1)
77. Benjamin Podmiljšak, vabljen predavanje na International Magnetism Conference (INTERMAG) 2023, Sendai, Japonska, 15.–19. maj 2023 (1)
78. Benjamin Podmiljšak, delovni sestanek v okviru projekta Additive manufacturing of permanent magnet materials (AddMmag), Grenoble, Francija, 23.–26. maj 2023 (1)
79. Mihaela Rebernik, Boris Sajc, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru projekta Resilient and sustainable critical raw materials REE supply chains for the e-mobility and renewable energy ecosystems and strategic sectors (REEsilience), Dunaj, Avstrija, 20.–22. februar 2023 (5)
80. Mihaela Rebernik, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru projekta Novel grain boundaries engineered resource efficient Nd-Fe-B permanent magnets (PMS) (RECO2MAG), Sokobanja, Srbija, 25.–27. maja 2023 (3)
81. Mihaela Rebernik, Sašo Šturm, Tomaž Tomše, delovni sestanek v okviru projekta Resilient and sustainable critical raw materials REE supply chains for the e-mobility and renewable energy ecosystems and strategic sectors (REEsilience), Pariz, Francija, 20.–22. september 2023 (3)
82. Mihaela Rebernik, Kristina Žužek, 15th International Workshops on Electrodeposited Nanostructures (EDNANO), Metz, Francija, 15.–18. november 2023 (2)
83. Mihaela Rebernik, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru projekta Novel grain boundaries engineered resource efficient Nd-Fe-B permanent magnets (PMS) (RECO2MAG), Zagreb, Hrvaška, 14.–15. december 2023 (3)
84. Zoran Samardžija, Aleksander Učakar, 24th edition of the Conference on Materials (YUCOMAT), Herceg Novi, Crna gora, 4.–8. september 2023 (2)
85. Sorour Semsari Parapari, Sašo Šturm, zaključni sestanek projekta Re-generating (raw) materials and end-of-life products for re-use in Cement/Concrete (RECEMENT), Bukarešta in Covasna, Romunija, 10.–14. april 2023 (2)
86. Sorour Semsari Parapari, Vinko Sršan, Advanced (S)TEM Microscopy Workshop 2023, Genova, Italija, 22.–23. junij 2023 (2)
87. Sorour Semsari Parapari, Sašo Šturm, 20th International Microscopy Congress (IMC20), Busan, Južna Koreja, 10.–15. september 2023 (2)
88. Layrton José Souza Da Silva, 3rd edition of the eSPARK International Summer School on Experimental Electrochemistry, Varšava, Poljska, 18.–24. junij 2023 (1)
89. Vinko Sršan, vabljen predavanje na University of Rijeka, Faculty of Physics, Rijeka, Hrvaška, 31. januar–1. februar 2023 (1)
90. Vinko Sršan, Summer Workshop of Transmission Electron Microscopy of Nanomaterials 2023 at University of Cadiz (TEM-UCA 2023), Cadiz, Španija, 15.–22. julij 2023 (1)
91. Vinko Sršan, Eksperimentalno delo na University of Glasgow, School of Physics and Astronomy, Glasgow, Velika Britanija, 12.–25. november 2023 (1)
92. Sašo Šturm, Kristina Žužek, udeležba na European Association of Research and Technology Organisations (EARTO) 2023, Bolzano, Italija, 28.–29. marec 2023 (2)
93. Anubhav Vishwakarma, udeležba na konferenci Advanced Manufacturing and Materials Processing (AdvaMAP) – Alleppey Kerala, predavanje na University Greater Noida – Shiv Nadar (New Delhi) in Madan Mohan Malaviya University of Technology (MMMUT) – Gorakhpur, delavnica na Indian Institute of Technology (IIT) – Indor, Indija, 6.–22. februar 2023 (1)
94. Jelena Vujančević, vabljen predavanje na The Advanced Ceramic and Application Conference, Beograd, Srbija, 18.–20. september 2023 (1)

95. Jelena Vujančević, 1st edition of the nanoBalkan International Conference (NB2023), Tirana, Albanija, 16.–20. oktober 2023 (1)
96. Milan Vukšić, vabljen predavanje na Young Ceramists Additive Manufacturing Forum (yCAM 2023), Leoben, Avstrija, 30. avgust–1. september 2023 (1)
97. Kristina Žagar Soderžnik, Workshop Laboratory Leadership for Group Leaders (and equivalent), Heidelberg, Nemčija, 23.–27. januar 2023 (1)
98. Kristina Žagar Soderžnik, Špela Trafela, udeležba na konferenci EUROSENSORS 2023, Lecce, Italija, 10.–13. september 2023 (2)
99. Kristina Žagar Soderžnik, delovni obisk University of Lodz, Poljska, 21.–24. november 2023 (1)
100. Kristina Žagar Soderžnik, udeležba simpozija *Presečišča med etiko, integriteto in enakostjo spolov v znanosti*, Ljubljana, 8. december 2023
101. Kristina Žužek, delovni sestanek v podjetju Magneti Ljubljana, d. d., Ljubljana, 20. julij 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Belisa Alcantara Marinho, PhD. Portugalska
2. dr. Muhammad Shahid Arshad
3. prof. dr. Slavko Bernik, znanstveni svetnik
4. prof. dr. Miran Čeh, znanstveni svetnik
5. prof. dr. Jean Marie Dubois, znanstveni svetnik
6. dr. Aljaž Iveković
7. dr. Petra Jenuš Belec
8. prof. dr. Spomenka Kobe, znanstveni svetnik
9. prof. dr. Andraž Kocjan
10. doc. dr. Matej Andrej Komelj
11. doc. dr. Nina Kostevšek
12. prof. dr. Saša Novak Krmpotič, znanstveni svetnik
13. dr. Matejka Podlogar
14. dr. Benjamin Podmiljšak
15. prof. dr. Aleksander Rečnik, znanstveni svetnik
16. dr. Zoran Samardžija
17. **prof. dr. Sašo Šturm, znanstveni svetnik - vodja odseka**
18. doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik
19. prof. dr. Kristina Žužek

Podoktorski sodelavci

20. dr. Anže Abram
21. dr. Maja Antanasova*
22. Fabian Allen Burkhardt, PhD. Združeno kraljestvo
23. dr. Nataša Drnovšek*
24. *dr. Živa Marinko, odšla 1. 4. 2023*
25. Vesna Ribič, PhD., Srbija
26. Sorour Semsari Parapari, Msc.
27. dr. Tomaž Tomše
28. *dr. Špela Trafela, odšla 1. 11. 2023*
29. Jelena Vujančević, PhD., Srbija
30. Milan Vukšić, PhD., Hrvaška

Mlajši raziskovalci

31. Nikhil Bhoopur, MSc, Nizozemska
32. Giulia Della Pelle, Msc.
33. Lara Einfalt, mag. inž. metal. in mater.
34. Sina Khoshima, PhD., Turčija
35. Diana Knyzhnykova, Msc., Ukrajina
36. Klara Laura Konda, mag. kem.
37. Abhilash Krishnamurthy, Msc., Nemčija
38. Monika Kušter, mag. inž. metal. in mater.
39. Barbara Ljubec Božiček, mag. inž. kem. teh.
40. Amit Mishra, PhD., Indija
41. Mihaela Rebernik, mag. kem.
42. Layrton Jose Souza Da Silva, Msc., Brazilija
43. Vinko Sršan, Msc., Hrvaška
44. Aleksander Učakar, mag. inž. metal. in mater.
45. Anubhav Vishwakarma, Msc., Indija

Strokovni sodelavci

46. Sanja Fidler, univ. dipl. kom.
47. Nik Gračanin, dipl. inž. geol. (UN)
48. Kaja Križman, mag. ind. farm.
49. Ipeknaz Özden Moser, Msc., Turčija
50. dr. Boris Saje*
51. Nejc Skoporc, dipl. inž. fiz. (VS)
52. Neža Sodnik, mag. kem.
53. *Ksentia Vyshnenska, Msc., Ukrajina, odšla 3. 3. 2023*

Tehniški in administrativni sodelavci

54. Sabina Cintauer, mag. manag.
55. Darko Eterović
56. Tina Radošević, mag. inž. geol.
57. Marija Šebjan Pušenjak, dipl. ekon. (VS)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Anže Abram: University of the Ryukyus, Okinawa, Japonska, 8. maj–2. oktober 2023 (II. del podoktorskega usposabljanja – raziskovalno delo v laboratoriju)
2. Belisa Alcantara Marinho: Federal University of Santa Catarina, Florianopolis, Brazilija, 25. oktober–20. november 2023 (raziskovalno delo v laboratoriju)
3. Andraž Kocjan: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Nemčija, 14. januar–14. april 2023 (strokovno izpopolnjevanje – raziskovalno delo v laboratoriju)
4. Tomaž Tomše: Hochschule Pforzheim, Pforzheim, Nemčija, 1. oktober 2023–30. junij 2024 (podoktorsko usposabljanja – raziskovalno delo v laboratoriju)

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Akrapovič, d. d., Ivančna Gorica, Slovenija
2. Arhel, d. o. o., Komenda, Slovenija
3. Bourns, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
4. Brno University of Technology, Central European Institute of Technology, Brno, Češka republika
5. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Nemčija
6. CIM UPC (Computer Integrated Manufacturing Universidad Politécnica de Catalunya), Barcelona, Španija
7. Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, CEMES-CNRS, Toulouse, Francija
8. Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Rim, Italija
9. COST Association, Bruselj, Belgija
10. CSIC, Institute for Ceramic and Glass, Institute of Material Science, and the Rocasolano Physical Chemistry Institute, Madrid, Španija
11. Danmarks Tekniske Universitet – DTU, Kongens Lyngby, Danska
12. Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije, Ljubljana, Slovenija
13. EIT Manufacturing, Palaiseau, Francija
14. EIT RawMaterials GmbH, Berlin, Nemčija
15. ELPRO Lepenik & Co., d. o. o., Miklavž na Dravskem polju, Slovenija
16. Erich Schmid Institute of Materials Science, Austrian Academy of Sciences in Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
17. Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy, Jülich, Nemčija
18. Eskisehir Technical University, Campus 26555, Tepebaşı, Eskisehir, Turčija
19. European Association for Cancer Research (EACR), Nottingham, Združeno kraljestvo
20. European Association of Research and Technology Organisations (EARTO), Bruselj, Belgija
21. European Ceramic Society, Mons, Belgija
22. European Molecular Biology Organisation (EMBO), Heidelberg, Nemčija
23. Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Sciences, University of Milan, Milano, Italija
24. Federal University of Santa Catarina, Florianopolis, Brazilija
25. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Nemčija
26. Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden, Nemčija
27. Fraunhofer Research Institution for Materials Recycling and Resource Strategies IWKS, Hanau, Nemčija
28. Gdańsk University of Technology, Gdansk, Poljska
29. Genuine Technologies, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
30. Goldsmiths, University of London, London, Združeno kraljestvo
31. Gorenje, gospodinjiski aparati, d. d., Velenje, Slovenija
32. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija
33. Hungarian Academy of Sciences, Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Budimpešta, Madžarska
34. Indian Institute of Technology (IIT) – Indor, Indija
35. Institut Jean Lamour – Université de Lorraine, Nancy, Francija
36. Institut Mines-Télécom, Department for Environment and Energy, Douai, Francija
37. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
38. Institut za multidisciplinarnе studije, Beograd, Srbija
39. Institute of Chemistry for Life and Health Sciences (ICLeHS, SEISAD), Pariz, Francija
40. Institute of Chemical Sciences and Technologies Giulio Natta – SCITEC, CNR, Milano, Italija
41. Instituto de cerámica y Vidrio (CSIC/ICV), Madrid, Španija
42. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), Madrid, Španija
43. Instytut Chemii Fizycznej, Polskiej Akademii Nauk, Varšava, Poljska
44. Institut za kovinske materiale in tehnologije – IMT, Ljubljana, Slovenija
45. Institut za vode RS, Ljubljana, Slovenija
46. Interdent, d. o. o., Celje, Slovenija
47. International Center for Theoretical Physics – ICTP, Trst, Italija
48. International & Inter-University Centre for Nanoscience & Nanotechnology, Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala, Indija

49. International Society of Electrochemistry, Lausanne, Švica
50. Iskra Pio, d. o. o., Ljubljana
51. ITR-Lab, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
52. Javna agencija Republike Slovenije za spodbujanje investicij, podjetništva in internacionalizacije (SPIRIT), Ljubljana, Slovenija
53. Karlova univerza v Pragi, Fakulteta za matematiko in fiziko, Praga, Češka republika
54. Katholieke Universiteit (KU) Leuven, Leuven, Belgija
55. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
56. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
57. Kolektor, d. o. o., Idrija, Slovenija
58. Korean Society of Microscopy (KSM), Seoul, Južna Koreja
59. Kvader MT, d. o. o., Horjul, Slovenija
60. Laboratoire CRISMAT/ENSICAEN, Caen, Francija
61. Lithoz GmbH, Dunaj, Avstrija
62. Loughborough University, Loughborough, Združeno kraljestvo
63. Madan Mohan Malaviya University of Technology (MMMUT), Gorakhpur, Indija
64. Magneti Ljubljana, d. d., Ljubljana, Slovenija
65. MagSpin Transparent Ceramics, Eskisehir, Turčija
66. Materials Center Leoben Forschungs GmbH, Leoben, Avstrija
67. Materials Research Society of Serbia, Beograd, Srbija
68. Max Planck Institute for Plasma Physics, Garching, Nemčija
69. Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf, Nemčija
70. Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart, Nemčija
71. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
72. Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije, Ljubljana, Slovenija
73. Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Leoben, Avstrija
74. Mustafa Kemal University, Arts & Science Faculty, Physics Department, Hatay, Turčija
75. National Institute for Materials Physics – NIMP, Bukarešta, Romunija
76. National Institute for Materials Science NIMS, Research Center for Magnetic and Spintronic Materials, Tsukuba, Japonska
77. Novartis farmacevtska proizvodnja, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
78. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška
79. Onkološki Inštitut, Oddelek za eksperimentalno onkologijo, Ljubljana, Slovenija
80. Orano, Châtillon, Hauts-de-Seine, Francija
81. PharmaHemp, d. o. o., Ljubljana
82. Polytechnic University of Bucharest, Bukarešta, Romunija
83. Prochips, Morrisville (NC), Združene države Amerike
84. Punjabi University Patiala, Punjab, Indija
85. Queen's University Belfast, School of Pharmacy, Belfast, Združeno kraljestvo
86. Rare Earth Industry Association, Bruselj, Belgija
87. Raycap, d. o. o., Komenda, Slovenija
88. ReDisc, d. o. o., Novo mesto, Slovenija
89. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Komenda
90. Rolex SA, Plan-les-Ouates, Švica
91. Rudnik svinca in cinka Mežica v zapiranju, d. o. o., Mežica, Slovenija
92. Sabanci Üniversitesi, Istanbul, Turčija
93. Science, Engineering, Technology Conferences Organisers (SETCOR), Le Perreux Sur Marne, Francija
94. Serbian Academy of Sciences and Arts, Beograd, Srbija
95. Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Srbija
96. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, Kitajska
97. Soboljev inštitut za geologijo in mineralogijo, Sibirskaja veja ruske akademije znanosti, Novosibirsk, Rusija
98. Sveučilište u Rijeci, Rijeka, Hrvaška
99. Sveučilište u Zagrebu, Centar za istraživanje i prijenos znanja u biotehnologiji, Zagreb, Hrvaška
100. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvaška
101. TALUM Tovarna aluminija d. d., Kidričevo, Slovenija
102. Technische Universität Graz, Zentrum für Elektronenmikroskopie, Gradec, Avstrija
103. Tehnološki park Ljubljana, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
104. The Minerals, Metals & Materials Society, Pittsburgh, Združene države Amerike
105. Thermo Fisher Scientific, Eindhoven, Nizozemska
106. Trimco, d. o. o., Trebnje
107. Technische Universität Wien (TUW), Dunaj Avstrija
108. Universidad de Cadiz, Facultad de Ciencias, Puerto Real, Cadiz, Španija
109. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Španija
110. Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale Toso Montanari, Bologna, Italija
111. Universität für Weiterbildung Krems, Krems an der Donau, Avstrija
112. Université de Strasbourg, Strasbourg, Francija
113. Université libre de Bruxelles, Bruselj, Belgija
114. Université Paris Sud, Laboratoire de Physique des solides, Orsay, Francija
115. Universiteit Antwerpen, Antwerpen, Belgija
116. University Greater Noida – Shiv Nadar, New Delhi, Indija
117. University of Barcelona, Electronics and Biomedical Engineering, Barcelona, Španija
118. University of Birmingham, Birmingham, Združeno kraljestvo
119. University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge, Združeno kraljestvo
120. University of Glasgow, School of Physics and Astronomy, Glasgow, United Kindgom
121. University of Lodz, Lodz, Poljska
122. University of Oxford, Department of Materials, Oxford, Združeno kraljestvo
123. University of Pannonia, Veszprem, Madžarska
124. University of Pforzheim, Pforzheim, Nemčija
125. University of Ryukyus, Okinawa, Japonska
126. University of Science and Technology – AGH-UST, Interfaculty Laboratory for Electron Microscopy, Krakow, Poljska
127. University of Trento, Trento, Italija
128. University of Zagreb, Department of Chemistry, Faculty of Science, Zagreb, Hrvaška
129. Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija
130. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
131. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
132. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Katedra za farmacevtsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
133. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
134. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
135. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
136. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
137. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
138. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za biologijo celice, Ljubljana, Slovenija
139. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija
140. Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Maribor Slovenija
141. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
142. Valeo Electrical System, Saint-Denis Cedex, Francija
143. Vrije Universiteit Brussel, Bruselj, Belgija
144. Zarja Elektronika, d. o. o., Kamnik, Slovenija
145. Zavod za gradbeništvo, Ljubljana, Slovenija
146. Zeos, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
147. Weiler Abrasives, d. o. o., Maribor, Slovenija
148. Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems, Wroclaw, Poljska

Glavna dejavnost Odseka za sintezo materialov je sinteza različnih naprednih, predvsem oksidnih magnetnih materialov. V ospredju so nanostrukturirani materiali, kot so magnetne tekočine, funkcionalizirani nanodelci za uporabo v biomedicini, večnamenski nanokompoziti, katalizatorji in fluorescentni materiali.

Sinteza nanostrukturiranih materialov na Odseku za sintezo materialov v splošnem običajno vključuje sintezo anorganskih nanodelcev, uravnavanje njihovih površinskih lastnosti s prevlečenjem z anorganskimi prevlekami in/ali z vezavo organskih molekul na njihove površine, pripravo koloidnih suspenzij ter spajanje nanodelcev v kompozitne materiale. Lastnosti sintetiziranih materialov prilagajamo specifičnim uporabam v katalizi, biomedicini in senzoriki, če omenimo le področja, ki so bila v ospredju v letu 2023.

Sinteza in struktura substituiranih nanoploščic barijevega heksaferita

V raziskovalni skupini, ki je na odseku posvečena nanostrukturni karakterizaciji, smo raziskovali strukturo in magnetne lastnosti nanoploščic (NPL) barijevega heksaferita ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$). Zaradi svojih unikatnih magnetnih in strukturnih lastnosti imajo heksaferitne NPL pomembno mesto v različnih uporabah, od magneto-mehanskega uničevanja rakavih celic do tekočih magnetov (glej spodaj). Sinteza NPL temelji na hidrotermalni obdelavi suspenzije hidroksidov Ba in Fe. Magnetne lastnosti NPL lahko uravnavamo z izmenjavo dela Fe^{3+} ionov v njihovi strukturi z drugimi ioni. Leta 2023 smo raziskovali vpliv substitucije Fe s Co, Ni in Mn na strukturo in magnetne lastnosti heksaferitnih NPL. Čeprav so si trije substituenti med seboj kemijsko precej podobni, različno vplivajo na magnetne lastnosti heksaferitnih NPL. Ugotovili smo, da so razlike v učinku različnih substituentov povezane z njihovim oksidacijskim stanjem. Oksidacijsko stanje substituentov smo raziskovali v sodelovanju z dr. Janvitom Tržanom (Kemijski inštitut, Ljubljana) z uporabo rentgenske fotoelektronske spektroskopije.

Mn izmenja Fe^{3+} v oksidacijskem stanju $3+$. Mejo trdne topnosti Mn^{3+} v $\text{BaFe}_{12-x}\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ smo določili pri $x \sim 3$. Vgradnja Mn je učinkovito zmanjšala velikost sintetiziranih NPL, iz širine NPL prek 200 nm (za nesubstituirane NPL) na manj kot 50 nm pri $x = 3$ (debelina NPL je bila vedno pod 5 nm).

Nasprotno pa ostane Ni med hidrotermalno sintezo v oksidacijskem stanju $2+$. Ni^{2+} se vgradi v strukturo NPL le v nizkih koncentracijah do $x = 0,9$ v formuli $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ni}_x\text{O}_{19}$. Dodatek Ni v nizkih koncentracijah je zožal porazdelitev velikosti NPL. Ko pa smo dodali Ni v večjih količinah, so nastali kompozitni nanodelci, sestavljeni iz heksaferita in spinelnega ferita (NiFe_2O_4), ki sta bila zraščena skupaj v posameznem delcu (slika 1). Taka struktura je zelo zanimiva, ker omogoča izmenjalno magnetno sklopitev znotraj posameznega delca. Lastnosti heksaferita so magnetno trde, kar se kaže z visoko koercitivnostjo (H_c) in zmerno nasičeno magnetizacijo (M_s). V nasprotju pa je spinelni ferit mehko magneten, saj izkazuje majhno H_c in relativno visoko M_s . Zaradi izmenjalne sklopitve trdo-mehko se kompozitni nanodelec namagnetni kot enovita magnetna faza in lahko zato izkazuje kombinacijo povišane M_s iz mehke faze in velike H_c iz trde faze.

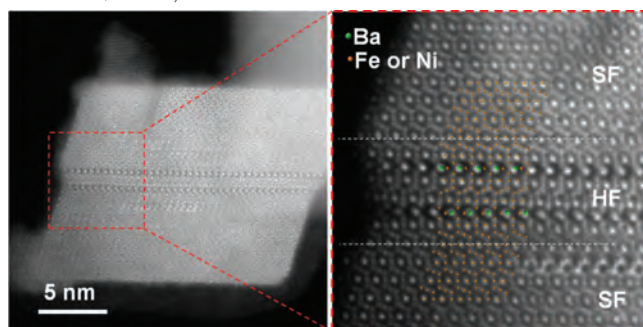
Co je med hidrotermalno sintezo NPL v mešanem oksidacijskem stanju $2+$ in $3+$. V heksaferitno strukturo NPL se vgradi le pri nizkih koncentracijah, podobno kot Ni^{2+} . Če pa ga dodamo v večjih koncentracijah, dobimo NPL z novo strukturo. Novo strukturo NPL smo študirali z neposrednim upodabljanjem z vrstično presevnim elektronskim mikroskopom (STEM) pri atomski ločljivosti v kombinaciji z rentgensko difraktometrijo (XRD) (v sodelovanju s prof. Antonom Medenom s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani). Nova struktura je del obširne družine heksagonalnih feritov. Struktura heksaferitov je v splošnem sestavljena iz treh strukturnih blokov: kubičnega $(\text{Me}_6\text{O}_8)^{2+}$ S bloka, heksagonalnega $(\text{BaMe}_6\text{O}_{11})^{2-}$ R bloka in $(\text{Ba}_2\text{Me}_8\text{O}_{14})^{2-}$ T bloka (Me predstavlja Fe ali drugo prehodno kovino). Struktura barijevega heksaferita je sestavljena le iz R in S blokov, medtem ko je nova struktura NPL sestavljena le iz T blokov.

Vgradnja kateregakoli od treh izbranih substituentov v strukturo je znatno znižala magnetne lastnosti NPL. Tak učinek ni bil pričakovan, saj so osnovne magnetne lastnosti treh ionov med seboj precej podobne. Raziskave se nadaljujejo.



Vodja:

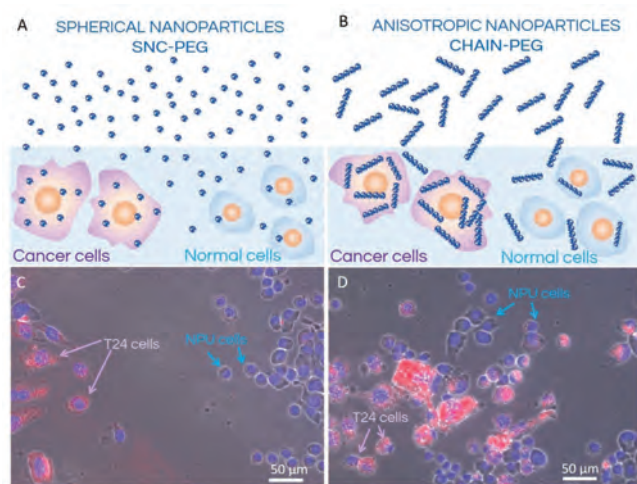
prof. dr. Darko Makovec



Slika 1: Kompozitni nanodelec, v katerem je heksaferitna (HF) nanoploščica vrašena v matrico spinelnega ferita (SF).

Magnetni bionanomateriali

Raziskovalna skupina Bionanomateriali je usmerjena v raziskave magnetnih nanodelcev železovega oksida in njihovih kompozitov ter hibridov z drugimi vrstami anorganskih nanodelcev, polimerov in lipidov za uporabo v biomedicini. Naše raziskave posvečamo razumevanju in razvoju novih pristopov za magnetno sestavljanje majhnih magnetnih nanokristalov, običajno superparamagnetnih nanodelcev železovega oksida, v večje magnetno vodljive nanostrukture, ki so prednostno anizotropnih oblik. V zadnjem času skupina daje poseben poudarek razvoju vsestranskih pristopov sestavljanja nanodelcev, ki omogočajo združevanje magnetnih nanokristalov in nanodelcev zlata. Poleg usmeritve v razvoj sinteznih postopkov novih nanomaterialov so raziskave skupine za bionanomaterialne usmerjene tudi v razvoj uporab, kjer izkoriščamo anizotropno obliko magnetnih nanodelcev v procesu magnetomehanske aktivacije. Raziskujemo mehko snov, kot so bakterijski biofilmi in agregati napačno zviti proteinov, po izpostavitvi anizotropnim magnetnim nanodelcem v rotacijskem magnetnem polju nizkih frekvenc in nizkih jakosti. Tak pristop omogoča razgradnjo strukture ciljane mehke snovi z brezstično sproženo magnetno manipulacijo, kar odpira številne terapijske možnosti pri zdravljenju raka in nevrodegenerativnih bolezni. Koncept še ni širše raziskan, saj se raziskovalci srečujejo z izzivom sestavljanja nanodelcev v anizotropne magnetne nanomaterialne, ki bi imeli primerne lastnosti za uporabo v biomedicini. Ta izziv je naša glavna raziskovalna usmeritev, pri čemer verjamemo, da koncept upravičuje nadaljnje vlaganje v te raziskave v prihodnjih letih.



Slika 2: Shematski prikaz procesa celične internalizacije sferičnih (A) in anizotropnih (B) nanodelcev v kokulturi normalnih (NPU) in rakavih (T24) urotelijskih celic ter pripadajoče slike iz fluorescenčne mikroskopije (C, D). Obe vrsti nanodelcev sta se prednostno privzeli v celice T24, medtem ko je bil obseg privzema anizotropnih nanodelcev v celice T24 bistveno večji v primerjavi s sferičnimi nanodelci.

ligandov za ciljanje specifičnega bakterijskega biofilma ter s fiziki, ki so usmerjeni v razumevanje magnetnih lastnosti (prof. Alenka Mertelj, Odsek za kompleksne snovi, IJS). Na strani razvoja novih sintez nanomaterialov z anizotropno obliko smo vzpostavili sodelovanje s skupino iz Švice (prof. Irena Milosevic, HEPIA – University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland), ki ima komplementarna strokovna znanja o sintezi anizotropnih nanomaterialov. Prve rezultate raziskav smo zaščitili z vložitvijo patentne prijave (EP23307039 – Magnetni anizotropni materiali za razgradnjo in/ali senzibilizacijo bakterijskega biofilma) skupaj s skupino CNRS iz Toulousea v Franciji.

V nacionalnem projektu J2-3040, kjer sodelujemo z Odsekom za molekularne in biomedicinske vede IJS (doc. Toni Petan), Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani (prof. Nataša Poklar Ulrih) in Inštitutom za celično biologijo Univerze v Ljubljani (prof. Mateja Erdani Kreft), razvijamo nove nanonosilce, ki posnemajo delce endogenih lipidov. Nanonosilci so bili zasnovani tako, da omogočajo dostavo relativno velike količine hidrofobnih nanodelcev in lipofilnih spojin v celice. Nanonosilci so sestavljeni iz hidrofobnih nanodelcev in lipofilnih molekul v emulzijskem sistemu, kjer so kot površinsko aktivne snovi uporabljeni fosfolipidi in proteini (apolipoprotein ali albumin). V letu 2023 smo velik del raziskav namenili optimizaciji sinteznih postopkov. Naš cilj je bil izkoristiti magnetne lastnosti nanoploščic heksaferitov za uničevanje rakavih celic, kar smo dosegli z aktiviranjem teh nanodelcev z nizkofrekvenčnim magnetnim poljem (t. i. magneto-mehanska aktivacija) v kombinaciji z različnimi nanodelci, ki vsebujejo bodisi ione Fe (heksaferitne nanoploščice in nanodelci magnetita) s polinenasičenimi maščobnimi kislinami za spodbujanje celične ferroptoze in fluorescenčne nanodelce fluorida. Heksaferitne nanoploščice se hkrati uporabljajo za sprožanje sproščanja spojin z njihovim magnetno-mehanskim aktiviranjem. Prvi rezultati kažejo, da so nanonosilci, ki posnemajo delce endogenih lipidov, nestrupeni za celice.

Leta 2023 je bil del raziskav skupine bionanomateriali posvečen štirim projektom ARIS (J2-3043, J3-3079, J7-4420, J2-3040), povezanim z izkoriščanjem magneto-mehanske aktivacije anizotropnih magnetnih nanodelcev za vplivanje na mehko snov, kot sta odstranjevanje obstojnih biofilmov in razgradnja agregatov napačno zviti proteinov na manjše delčke. V tem delu smo vzpostavili sodelovanje s skupino prof. dr. Janeza Košmrlja s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, kjer smo združili prizadevanja na področju razvoja novih afinitetnih ligandov za funkcionalizacijo nanodelcev z namenom boljšega ciljanja amiloidov beta. Poleg tega smo identificirali posebno strokovno znanje, ki je bilo potrebno za pripravo primernih fibrilarnih samo-sestavljenih struktur amiloidov ter za izvedbo *in vitro* študij razgrajenih agregatov beljakovin na celicah nevronov, pri čemer smo sklenili sodelovanje z raziskovalnimi skupinami prof. Borisa Roglja (dr. Helena Motaln) z Odseka za biotehnologijo IJS in prof. Stanislava Gobca (dr. Damijan Knez) s Fakultete za farmacijo Univerze v Ljubljani. Pomemben del raziskav je bil usmerjen v študije odstranjevanja obstojnih biofilmov, kjer smo vzpostavili sodelovanje s strokovnjaki mikrobiologi, ki se ukvarjajo s pripravo bakterijskih biofilmov (prof. Jelena Kološnjaj – Tabi, CNRS, Univerza v Toulouseu, prof. Jerica Sabotič in prof. Aleš Berlec z Odseka za biotehnologijo IJS), z organskimi kemiki s Fakultete za farmacijo UL (prof. Stane Pajk in prof. Marko Anderluh) z znanjem o organski sintezi glikanov in biocidnih

V letu 2023 smo nadaljevali raziskave na ARIS projektu J2-3046 v sodelovanju z raziskovalci Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani (skupina prof. Damijana Miklavčiča), kjer smo združili prizadevanja na področju raziskav selektivne elektroporacije z uporabo nanodelcev zlata kot tarčnih nanoelektrod. Pripravili smo nanodelce zlata različnih velikosti od 10 do 130 nm in različnih oblik, in sicer sferične in paličaste oblike. Nanodelce smo funkcionalizirali z molekulami HS-PEG-OMe, da smo zagotovili dobro koloidno stabilnost funkcionaliziranih nanodelcev v kompleksnih tekočinah, kjer poteka elektroporacija celic. Za kontrolo smo pripravili sferične nanodelce silicijevega dioksida in jih funkcionalizirali z molekulami PEG silana.

Leta 2023 smo zaključili študije o razumevanju vpliva oblike magnetnih delcev na učinkovitost njihovega celičnega privzema. Ugotovili smo, da anizotropna oblika magnetnih nanoverig poveča njihov privzem in obseg privzema v celice. Te študije smo izvedli v sodelovanju s Fakulteto za farmacijo Univerze v Ljubljani (prof. Petra Kocbek) in Medicinsko fakulteto Univerze v Ljubljani (prof. Mateja Erdani Kreft). Rezultati so bili objavljeni v reviji *Nanoscale*.

Anizotropna oblika magnetnih nanodelcev: dejavnik, ki omogoča selektiven in povečan obseg privzema nanodelcev v celice.

Preteklo leto smo vzpostavili tudi sodelovanje z raziskovalci z Oddelka za kemijske in farmacevtske vede Univerze v Trstu, Italija (prof. Maurizio Prato) pri skupnem projektu selektivne funkcionalizacije ogljikovih nanopik, kar omogoča razvoj novih elementov za optično komunikacijo. Delo je bilo objavljeno v reviji *Angewandte Chemie International Edition*.

Magnetna kataliza

Skupina za magnetno katalizo se osredotoča na raziskave magnetnih nanokompozitov za uporabo v katalizi. Naši katalizatorji so hierarhični nanokompozitni materiali. Sestavljeni so iz magnetnih nanodelcev, vgrajenih v anorgansko matrico z veliko površino, ki je dekorirana z majhnimi katalitičnimi nanodelci. Naše raziskave se osredotočajo na razumevanje, kako kemijski parametri sinteze, kot so koncentracija, pH in temperatura, vplivajo na lastnosti katalizatorjev. V sodelovanju z Odsekom za katalizo in reakcijsko inženirstvo Kemijskega inštituta razvijamo nove pristope h kemijskim pretvorbam, ki temeljijo na magnetnem segrevanju katalizatorja. Magnetno segrevanje izkorišča segrevanje magnetnih nanodelcev v visokofrekvenčnem magnetnem polju za zagotavljanje toplote za izvajanje katalitskih reakcij. Njegovi prednosti sta hitro segrevanje katalitske plasti in dober nadzor temperature. Poleg elektrifikacije takšni reaktorji v primerjavi z običajnim ogrevanjem omogočajo tudi bolj prilagodljivo proizvodnjo kemikalij in goriv. Prilagodljivost je še posebej pomembna za uporabo nestalnega vira obnovljive električne energije. Ta nova metodologija ogrevanja rešuje tudi nekatere splošne težave, ki se pojavljajo v industrijskih obratih, kjer je za zagon pri konvencionalnih shemah ogrevanja običajno potrebnih več dni.

V ospredju naših raziskav je sinteza magnetnih katalizatorjev. Eden od pomembnih tipov katalizatorjev je aluminijev oksid, na katerem so nanešeni kovinski nanodelci. V preteklem obdobju smo v sodelovanju s prof. Andražem Kocjanom z Odseka za nanostrukturirane materiale IJS razvili postopek sinteze nanostrukturiranega magnetnega aluminijevega oksida, ki temelji na nanašanju AlOOH na superparamagnetne nanodelce železovih oksidov s hidrolizo AlN v koloidni suspenziji, ki ji sledi termična obdelava. Magnetni nanodelci železovega oksida so se izkazali za neprimerne za uporabo v močno reducirajoči atmosferi, kot je na primer proces sinteze amonijaka. V te namene smo razvili podoben nanokompozit, ki namesto železovega oksida vsebuje nanodelce zlitine $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$. Osrednji del raziskave, ki je tudi del projekta H2020 Oracle, je bil ugotoviti vplive pogojev redukcije, kot so temperatura, hitrost segrevanja in pretok H_2 , na velikost nanodelcev $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$. Analiza redukcije je razkrila precej zapleten proces, ki poteka v dveh različnih temperaturnih območjih in se konča šele pri temperaturi približno 850 °C. Redukcija zlitine poteka pri izrazito višjih temperaturah v primerjavi s čistima kovinama Co in Ni. Dodatno pa se temperatura redukcije še poveča zaradi interakcije prekurzorjev z aluminijevim oksidom. Študija je pokazala, da nanodelci zlitine $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ po izpostavitvi nanokompozitov zraku delno oksidirajo. Oksidacija je bila izrazitejša pri višjih vsebnostih Co. Vendar se zdi, da pri nanodelcih, ki vsebujejo do 67 % Co, nastanek začetne površinske oksidne plasti zaščiti zlitino pred nadaljnjo oksidacijo. Nanokompoziti $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{-Al}_2\text{O}_3$ so se učinkovito segrevali, ko so bili izpostavljeni visokofrekvenčnemu (118–330 kHz) izmeničnemu magnetnemu polju že pri razmeroma majhnih amplitudah do 58 mT. Testiranje v reaktorju s fiksnim slojem, ki je pomemben za visokotemperaturne katalitične procese, kot sta sinteza/razgradnja amonijaka in parni reforming metana, je pokazalo, da je mogoče v nekaj minutah doseči visoke temperature nad 800 °C.

Pri oksidacijskih reakcijah je cerijev oksid eden od najprimernejših materialov za nanos katalitičnih nanodelcev. Za sintezo magnetnih nosilcev cerijevega oksida, uporabnih v katalizi z magnetnim segrevanjem, smo razvili novo metodo za nanos cerijevega oksida na magnetne nanodelce. Kot magnetno fazo smo uporabili nanodelce železovega oksida in nanodelce zlitine CoNi. Metoda nanašanja temelji na nadzorovanem obarjanju Ce^{3+} ionov v prisotnosti heksametilentetramina (HMTA). Posebno pozornost smo namenili študiju kemijskih mehanizmov, ki omogočajo nanašanje homogenih prevlek cerijevega oksida z veliko površino. Ugotovili smo, da je mogoče homogeno plast cerijevega oksida nanesti le na nanodelce železovih oksidov, ki so bili predhodno prevlečeni s tanko plastjo silicijevega

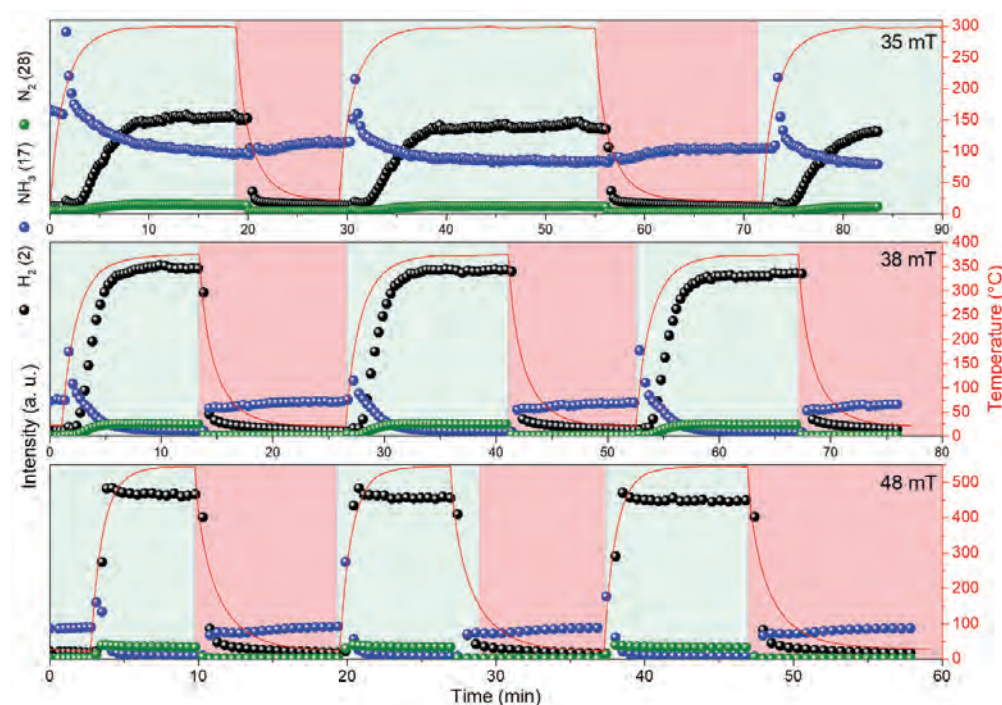
oksida, medtem ko je mogoče plast cerijevega oksida nanesti neposredno na CoNi hidrokside kot prekursorje za CoNi nanodelce. Plast je sestavljena iz majhnih nanokristalitov cerijevega oksida, ki so veliki med 3 in 5 nm. Po nanosu katalitičnih nanodelcev Ru smo katalizatorje preizkusili v reakciji hidrogeniranja hidroksimetil furfurala (HMF). Pri tem smo uporabili običajno in magnetno segrevanje.

Skladiščenje in prevoz vodika pod tlakom ali utekočinjenega vodika sta draga in nevarna. Zato postaja vse pomembnejše kemično skladiščenje (npr. v amonijaku) kot varnejša alternativa. Vendar je takojšen zagon konvencionalno ogrevanega reaktorja, ki lahko sprosti ali shrani H_2 v molekuli, zahteven. V sodelovanju z Odsekom za katalizo in reakcijsko inženirstvo Kemijskega inštituta in evropskim konzorcijem projekta H2020 Oracle smo razvili odziven in elektrificiran postopek za sintezo amonijaka, ki temelji na magnetnem segrevanju

Sinteza magnetnih katalizatorjev za elektrificirano proizvodnjo amonijaka.

nanokompozitov CoNi-Al₂O₃, ki so prevlečeni s katalitičnimi nanodelci Ru. Poleg tega je katalizator tudi zelo aktiven pri reakciji razgradnje amonijaka. Študija je pokazala, da hitro segrevanje magnetnih nanodelcev omogoča hitre spremembe temperature katalizatorja in posledično sestave iztoka iz reaktorja. Razmerje med H_2 in NH_3 v iztoku je mogoče uravnati od 0 do 1 na minutni časovni skali (slika 3). Proučevanje pretvorbe NH_3 v izotermnih stacionarnih pogojih je pokazalo, da pretvorbo ovira kinetika in ne prenos toplote, kot se običajno dogaja v konvencionalno ogrevanih reaktorjih. Rezultati obeh študij kažejo, da bi uporaba magnetnega ogrevanja lahko privedla do uporabe amonijaka kot vektorja vodika. Pri tem bi vodik hranili ali sproščali zgolj z uporabo ene enote. Zaradi odzivnosti sistema bi lahko koristili elektriko iz obnovljivih virov.

V letu 2023 smo nadaljevali sodelovanje z Oddelkom za zelene tehnologije Univerze Južne Danske (prof. Shuang Ma Andersen in prof. Raghunandan Sharma). Prispevali smo k razvoju visoko aktivnega katalizatorja za reakcijo razvoja kisika. Katalizator sestavlja IrO₂, ki je na površini obogaten z Ir. Katalitični nanodelci so nanešeni na TiN. Glavna ugotovitev raziskave je pojasnjena izboljšana stabilnost katalizatorja zaradi odpornosti TiN proti koroziji v primerjavi s tradicionalno uporabljenimi ogljikovimi materiali.



Slika 3: Razgradnja amonijaka pri neizotermnih dinamičnih pogojih. Časovni intervali, ker je bilo greetje vklopljeno, so osenčeni zeleno, časovni intervali z izklopljenim gretjem pa rdeče.

Hibridi in tekoči feroiki (HI LIFE)

Skupina HI LIFE se osredotoča na raziskave hibridnih materialov in tekočih feroikov (angl. Hybrids and Liquid Ferroics). Hibridni materiali, ki nas zanimajo, so sestavljeni iz anorganskih nanokristalov in organskih ligandov. Naše študije se začnejo z razumevanjem interakcij med anorganskimi kristalnimi površinami in organsko snovjo, kemijsko stabilnostjo in sestavljanjem nanodelcev v različnih sistemih, kot je feroična tekočina, ki je tekoča alternativa trdnim feroikom. Po razvoju prve feromagnetne tekočine v sodelovanju z Oddelkom za kompleksne snovi (*Nature*, 2013) se nadaljujejo intenzivne raziskave v smeri magnetoelektričnih in multiferoičnih tekočin. Naše študije vključujejo

koloidne interakcije in feroično sklopitev v disperzijah magnetnih nanoploščic, ki temeljijo na barijevem heksaferitu, s ciljem možne uporabe v senzorjih, mikrofluidiki, pametnih omrežjih, servilni robotiki in čiščenju vode.

Kontrola površinskih lastnosti nanodelcev s funkcionalizacijo ali hibridizacijo z organskimi ligandi omogoča pripravo njihovih koloidnih suspenzij. V ospredju naših raziskav je priprava suspenzij trajno magnetnih nanoploščic barijevega heksaferita (v sodelovanju z Odsekom za kompleksne snovi). Zanimale so nas različne vrste sistemov in njihovo obnašanje. Trenutno najbolj stabilen sistem temelji na 1-butanolnih suspenzijah nanoploščic barijevega heksaferita, funkcionaliziranih z dodecilbensulfonsko kislino. V sodelovanju s Fizikalnim inštitutom Univerze Otto von Guericke iz Magdeburga smo pokazali, da se takšne suspenzije na izmenično magnetno polje odzivajo različno, odvisno od koncentracije nanoploščic.

Pri dovolj visokih koncentracijah postanejo suspenzije nanoploščic barijevega heksaferita feromagnetne, to pomeni, da imajo spontano magnetno urejenost in predstavljajo tekoče magnete (v nasprotju z dobro znanimi superparamagnetnimi ferofluidi). Osredotočeni smo na razumevanje koloidnih interakcij v suspenzijah heksaferitnih nanoploščic. Najpomembnejša študija iz leta 2023 je povezana z induciranim tokom tekočine v feromagnetnem ferofluidu, ki se lahko uporablja v mikrofluidiki brez cevi (objavljeno v *Small* 2023).

Naše trenutne študije se osredotočajo na koloidno stabilizacijo magnetnih nanoploščic v nepolarnih topilih. Glavni izziv v primerjavi s polarnimi suspenzijami je pomanjkanje elektrostatičnega odboja na velike razdalje. Do zdaj so bili feromagnetni ferofluidi pridobljeni le v sistemih z dovolj močno elektrostatično odbojno interakcijo, ki je bila protiutež privlačni magnetni dipolarni interakciji med magnetnimi nanoploščicami. Naša študija se osredotoča na različne makromolekule, ki zagotavljajo sterično odbojnost in omakanje z nepolarnimi topili.

Razvoj magnetoelektrične tekočine, kot nadgradnja feromagnetnih ferofluidov, je cilj FET-OPEN projekta MAGNELIQ, pri katerem sodelujemo z Univerzo v Mariboru, CNR iz Trsta, Češko akademijo znanosti in malim podjetjem Prensilia iz Italije. Letos smo združili eksperimentalne in teoretične študije, povezane z uravnavanjem površinske kemije in strukture nanoploščic barijevega heksaferita. Površinska kristalna ravnina nanoploščic je določena s pogoji med sintezo in po njej, tj. s končnim pH vodne suspenzije. Teoretični izračuni napovedujejo največjo stabilnost zaključne ravnine *2b*, ki je bila dejansko opažena pri visokih vrednostih pH v vodnih raztopinah natrijevega hidroksida. Pri nizkih vrednostih pH teorija napoveduje zaključno ravnino *12k*- ali *12k-O*, kot smo eksperimentalno opazili tudi v vodnih raztopinah dušikove kisline.

Glede na možno uporabo omenjenih tekočih sistemov, ki temeljijo na nanoploščicah barijevega heksaferita, nas zanima tudi, kako bi po uporabi lahko vplivali na okolje. Prva študija interakcij nanodelcev ferita (čistega železovega oksida) s kateholi ni pokazala pomembne razgradnje feritov. Nasprotno pa se je raztapljanje nanoploščic barijevega heksaferita v kislinskih raztopinah pospešilo v prisotnosti kateholov. Trenutno proučujemo mehanizem tega pospešenega raztapljanja.

Letos smo zaključili nacionalni projekt Tehnologija površinske selektivne hibridizacije za magnetoelektrične hibride v sodelovanju s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani. Projekt je bil usmerjen v razvoj hibridizacijske tehnologije za izdelavo magnetoelektričnih Janusovih nanoploščic. Poleg tega smo v sodelovanju z Oddelkom za elektronsko keramiko dokazali feroelektričnost v eni sami feromagnetni nanoploščici barijevega heksaferita. Eksperimentalno in teoretično preučujemo sklopitev obeh feroičnih lastnosti.

Teorija podpira eksperimente: Površinska struktura in z njo nasičena magnetizacija nanoploščic barijevega heksaferita je odvisna od pH vodnega medija.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Poberžnik, Matic, Herrero-Saboya, Gabriela, Makovec, Darko, Lisjak, Darja, Martin-Samos, Layla, Surface phase diagrams of pristine and hydroxylated barium hexaferrite surfaces from first-principles atomistic thermodynamics, *Applied surface science*, 2023, 637, 157890
2. Gyergyek, Sašo, Tchernychova, Elena, Böör, Katalin, Nečemer, Marijan, Makovec, Darko, Magnetic carbon nanocomposites via the graphitization of glucose and their induction heating, *Journal of alloys and compounds*, 2023, 953, 170139-1-170139-9
3. Potrč, Tanja, Kralj, Slavko, Nemec, Sebastjan, Kocbek, Petra, Erdani-Kreft, Mateja, The shape anisotropy of magnetic nanoparticles: an approach to cell-type selective and enhanced internalization, *Nanoscale*, 2023, 15, 19, 8611-8618

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. ORACLE – projektni sestanek, Ljubljana, 18.–19. 5. 2023
2. PASSENGER – projektni sestanek, Ljubljana, 31. 5.–1. 6. 2023

Nagrade in priznanja

1. Tina Černič: Krkina nagrada, Novo mesto, 20. 10. 2023
2. Sebastjan Nemec: Krkino priznanje s posebno pohvalo, Novo mesto, 20. 10. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - BeMAGIC; Magnetoelektriki po 2020: Izobraževalni program o energetski učinkovitosti magnetoelektričnih nanomaterialih za sodobne tehnologije informatike in varovanja zdravja
European Commission
prof. dr. Darja Lisjak
2. 2020 - ORACLE; Napredne sintetske poti in katalizatorji za sintezo amonjaka kot alternativnega obnovljivega goriva
European Commission
doc. dr. Sašo Gyergyek
3. H2020 - PASSENGER; Pilotna akcija za zagotovitev nove generacije učinkovitih trajnostnih magnetov brez redkih zemelj v Evropi
European Commission
prof. dr. Darko Makovec
4. H2020 - MAGNELIQ; Magneto-električna tekočina - Boljše zaznavanje
European Commission
prof. dr. Darja Lisjak
5. Raziskave nanodelcev ferimagnetnega železovega oksida z vrtnčasto magnetno strukturo za uporabo v hipertermiji
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Darko Makovec
6. Anizotropni magnetni nanodelci za in-vitro in in-vivo raziskave zdravljenja raka z magneto-mehanskim pristopom
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Slavko Kralj
7. Anizotropni nanodelci železovega oksida za uporabo v medicini: magneto-mehanski učinek in hipertermija
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Slavko Kralj

PROGRAM

1. Sodobni magnetni in večnamenski materiali
prof. dr. Darko Makovec

PROJEKTI

1. Baktericidna nanorezila: preizkus bimodalnega mehanokemijskega odstranjevanja trdovratnih biofilmov
doc. dr. Slavko Kralj
2. Selektivna elektroporacija s porazdeljenimi nanoelektrodami
doc. dr. Slavko Kralj
3. Razvoj visokoobčutljive elektrokemijske metode na osnovi magnetnih polimernih nanokompozitov za določanje spojin antibiotikov v sledovih v okoljskih sistemih
doc. dr. Sašo Gyergyek
4. Novi materiali na osnovi lignina iz biomase s povečano luminiscenčno aktivnostjo
prof. dr. Darja Lisjak
5. Tekoči magneti: temeljne raziskave feromagnetnega urejanja v tekočinah
prof. dr. Darja Lisjak
6. Tehnologija površinsko selektivne hibridizacije za magneto-električne hibride
prof. dr. Darja Lisjak
7. Magnetno odzivne površine za manipulacijo svetlobe in tekočin
prof. dr. Darko Makovec
8. S posnemanjem endogenih lipidnih delcev do magnetno-odzivnih nanostruktur za izboljšano dostavo zdravil in nanodelcev
prof. dr. Darko Makovec
9. Izkoriščanje magneto-mehanskega učinka pri zdravljenju nevrodegenerativnih bolezni
doc. dr. Slavko Kralj
10. Selektivno mehansko odstranjevanje bakterijskih biofilmov s konjugiranimi magnetnimi nanodelci
doc. dr. Slavko Kralj
11. CerAM-Heat: Aktivna proizvodnja porozne keramike iz polimernih prekurzorjev, ki omogoča magnetno gretje in elektrifikacijo kemijskih procesov
doc. dr. Sašo Gyergyek

VEČJI NOVI POGODBENI DELI

1. Maghon - Izvedljivostna študija priprave satovja za magnetno segrevanje
Ceram Austria GmbH
doc. dr. Sašo Gyergyek
2. Mikrovalovni heksaferiti
Antistat GmbH
prof. dr. Darja Lisjak

OBISKI

1. dr. Alexandru Lixandru, Huawei, Avstrija, 3. 2. 2023
2. dr. Zhao Dong Chen, Huawei, Avstrija, 3. 2. 2023
3. Emily Basmaison, Ecole Supérieure d'Ingénieurs Numérique et Matériaux (ESIREM), Univerza v Burgundiji, Dijon, Francija, 17. 4. 2023–14. 7. 2023
4. Pauline Tabel, Ecole Supérieure d'Ingénieurs Numérique et Matériaux (ESIREM), Univerza v Burgundiji, Dijon, Francija, 17. 4. 2023–14. 7. 2023
5. DI dr. Roland Nilica, DI Gernot Fauland MSc, DI Georg Kogler, CERAM, Avstrija, 11. 5. 2023
6. dr. Yves Huttel, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), CSIC Španija, Španija, 4. 7. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Katja Drobež: Funkcionalizacija nanoploščic barijevega heksaferita s kateholi, odsečni seminar K8, 8. 9. 2023
2. dr. Stanislav Čampelj: Sinteza in karakterizacija Janusovih nanodelcev, odsečni seminar K8, 7. 4. 2023
3. dr. Stanislav Čampelj: Magnetoreologija, odsečni seminar K8, 10. 11. 2023
4. dr. Parvaneh Esmaeilnejad Ahranjani: Nanodelci in razvoj cepiv, odsečni seminar K8, 6. 10. 2023
5. doc. dr. Sašo Gyergyek: Magnetno segrevanje v katalizi, odsečni seminar K8, 3. 3. 2023
6. dr. Yves Huttel: Sinteza nanodelcev v plinski fazi, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), CSIC Španija, Španija: Gas-Phase synthesis of nanoparticles, 4. 7. 2023

7. doc. dr. Slavko Kralj: Magnetno urejanje nanodelcev in primeri izkoriščanja magnetno-mehanskega učinka v biomedicini, odsečni seminar K8, 10. 3. 2023
8. doc. dr. Slavko Kralj: Uporaba magnetnih nanodelcev v boju s trdovratnimi biofilmi, odsečni seminar K8, 8. 12. 2023
9. prof. dr. Darja Lisjak: Hibridi in tekoči feroiki, odsečni seminar K8, 17. 2. 2023
10. prof. dr. Darko Makovec: Nove možnosti elektronske mikroskopije, odsečni seminar K8, 12. 1. 2023
11. prof. dr. Darko Makovec: Posebne tehnike presečne elektronske mikroskopije, ki so/bodo na voljo na KI in IJS, odsečni seminar K8, 23. 1. 2023
12. prof. dr. Darko Makovec: Sinteza nanoploščic substituiranega barijevega heksaferita, odsečni seminar K8, 23. 11. 2023
13. dr. Sebastjan Nemec: Sinteza magnetnih hibridnih nanoskupkov z lipidi, odsečni seminar K8, 15. 12. 2023
14. dr. Vincent Pautu, HEPIA, Geneva, Švica: Obnašanje nanonosilcev v tridimenzionalnem modelu tumorjev in načini ciljanja njihovega mikro okolja, odsečni seminar K8, 4. 1. 2023
15. dr. Marko Petek, Nacionalni inštitut za biologijo: Odprta znanost, odsečni seminar K8, 26. 5. 2023
16. Žiga Ponikvar: Razgradnja amonijaka z magnetno katalizo, odsečni seminar K8, 12. 5. 2023
17. Anja Sedmínek: Vodna metoda za pripravo nanokompozitov CoNi-Al₂O₃ za pripravo 3D tiskanih monolitov, odsečni seminar K8, 9. 6. 2023
18. Luka Skubic: Modeliranje Ru katalizatorja za sintezo amonijaka, odsečni seminar K8, Modeliranje Ru katalizatorja za sintezo amonijaka, 21. 4. 2023
19. dr. Ali Tufani: Priprava Janusovih Barij heksaferitnih nanoploščic, odsečni seminar K8, 31. 3. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Maja Caf, Katja Drobež, Sašo Gyergyek, Darja Lisjak, Sebastjan Nemec, Žiga Ponikvar, Nina Popov, Anja Sedminek, Luka Skubic, Ali Tufani, Slovenski kemijski dnevi, Portorož, 13.–15. 9. 2023 (+9)
2. Maja Caf, Tina Černič, Katka Drobež, 15. MPŠ študijska konferenca, Mokinje, 31. 5.–2. 6. 2023
3. Stanislav Čampelj, Darja Lisjak, Ali Tufani, projektni sestanek MAGNELIQ (Horizon 2020), Trst, Italija, 16.–17. 3. 2023
4. Stanislav Čampelj, Evropska noč raziskovalcev, Nova Gorica, 20. 4. 2023
5. Stanislav Čampelj, Anton Paar, izobraževanje, reološki seminar 2023, Portorož, 9.–11. 5. 2023
6. Stanislav Čampelj, 36th European Conference on Surface Science, University of Lodz, Lodz, Poljska, 27. 8.–2. 9. 2023 (1)
7. Stanislav Čampelj, Darja Lisjak, Ali Tufani, projektni sestanek projekta MAGNELIQ, Pontedera, Italija, 26.–29. 9. 2023
8. Sašo Gyergyek, podelitev priznanj inventivnim rešitvam 2022, Gornja Radgona, 8. 3. 2023
9. Sašo Gyergyek, Darko Makovec, projektni sestanek Maghon, CERAM Avstrija, Frauental an der Laßnitz, Avstrija, 26. 1. 2023
10. Sašo Gyergyek, Darko Makovec, pogovori o sodelovanju v podjetju CERAM Avstrija, Frauental an der Laßnitz, Avstrija, 27. 6. 2023
11. Sašo Gyergyek, Žiga Ponikvar, Anja Sedminek, Luka Skubic, 15th European Congress on Catalysis, EuropaCat 2023, Praga, Češka republika, 27. 8.–1. 9. 2023, (3)
12. Sašo Gyergyek, gostovanje pri partnerjih z Inštituta za mikro in nanotehnologijo, CSIC Madrid, Španija v okviru mednarodnega projekta I-LINK 2022, Madrid, Španija, 8.–18. 10. 2023
13. Sašo Gyergyek, konzorcijski sestanek projekta Oracle, Eindhoven, Nizozemska, 13.–15. 12. 2023
14. Darja Lisjak, 16th International Conference on Magnetic Fluids (ICMF 2023), Granada, Španija, 12.–16. 6. 2023 (1)
15. Darja Lisjak, The Joint European Magnetic Symposia (JEMS) 2023, Madrid, Španija, 27. 8.–1. 9. 2023 (1)
16. Darja Lisjak, IJS delegacija Znanost in inovacije, Rim, Italija, 4.–6. 12. 2023
17. Darko Makovec, strokovna ekskurzija Kolektor v okviru projektnega srečanja Passenger M24, Idrija, 1. 6. 2023
18. Darko Makovec, 8th Edition Smart Materials & Surfaces conference, SMS 2023, Albufeira, Portugalska, 25.–27. 10. 2023 (1)
19. Darko Makovec, AdSTEM 2023 – European School on 4D STEM imaging, Piran, 14.–18. 5. 2023
20. Darko Makovec, projektni sestanek Passenger, IMDEA, Madrid, Španija, 17.–20. 11. 2023
21. Ali Tufani, ISPPIC XXI – International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters, Berlin, Nemčija, 3.–8. 9. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Sašo Gyergyek
2. doc. dr. Slavko Kralj
3. prof. dr. Darja Lisjak, znanstveni svetnik
4. **prof. dr. Darko Makovec, znanstveni svetnik vodja odseka**
5. dr. Igor Zajc, strokovni sekretar odseka

Podoktorski sodelavci

6. dr. Stanislav Čampelj
7. Parvaneh Esmaeilnejad Ahranjani, PhD.
8. dr. Sebastjan Nemec
9. *Jelena Papan Djaniš*, PhD., Srbija, odšla 1. 9. 2023*
10. Nina Popov, PhD., Hrvaška
11. dr. Janvit Teržan*
12. Ali Tufani, PhD., Turčija

Mlajši raziskovalci

13. Maja Caf, mag. inž. kem. inž.
14. Katja Drobež, mag. inž. kem. inž.
15. Nina Križaj Kosi, mag. kem.
16. Žiga Ponikvar, mag. kem.
17. Anja Sedminek, mag. kem.
18. Luka Skubic, mag. inž. kem. inž.
19. Jošt Tručl, mag. kem.

Tehniški in administrativni sodelavci

20. Bernarda Anželak, univ. dipl. inž. kem. inž.
21. *Tina Černič, mag. nan., odšla 1. 12. 2023*
22. Tamara Matevc, univ. dipl. lit. komp. in fil.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aarhus Universtiy, Aarhus, Danska
2. Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), Berlin, Nemčija
3. C2cat Bv, Amstelveen, Nizozemska
4. Casale SA, Lugano, Švica
5. CNR, Istituto Officina dei Materiali, Trst, Italija
6. CNRS-IPBS, Toulouse, Francija
7. Češka akademija znanosti, Češka republika
8. Department of Chemistry and Biochemistry, University of Bern, Švica
9. Department of Physics, Central University of Punjab, Bathinda, Indija
10. Dutch Institute for Fundamental Energy Research, Eindhoven, Nizozemska
11. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Švica
12. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zurich, Švica
13. CERAM Austria GmbH, Frauental, Avstrija
14. IMDEA Nanoscience, Madrid, Španija
15. INDUSTRIE ILPEA spa, Malgesso, Italija
16. InoVine, d. o. o., Ljubljana
17. Institut Català de Nanociencia i Nanotecnologia, Barcelona, Španija
18. Institute of Nuclear Sciences Vinča, Beograd, Srbija
19. Institute of Physics ASCR, Praga, Češka
20. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC, Madrid, Španija
21. Kemijski inštitut, Ljubljana
22. Missouri University of Science and Technology, Rolla, ZDA
23. Murata Manufacturing Co. Oddelek za razvoj materialov, Kyoto, Japonska
24. Nanos Scientifcae, Ljubljana
25. National institute of advanced industrial science and technology, Osaka, Japonska
26. Osaka research institute of industrial science and technology, Osaka, Japonska
27. Prensilia, SRL, Italija
28. PSI Paul Scherrer Institute, Villigen, Švica
29. STELEM, d. o. o., Žužemberk
30. Technische Universitaet Dresden, Nemčija
31. Tehnična Univerza Chalmers, Švedska
32. Universidad Autònoma de Barcelona, Barcelona, Španija
33. Universidad Autònoma de Madrid, Madrid, Španija
34. Università di Trieste, Trst, Italija
35. Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg, Strasbourg, Francija
36. University of Cyprus, Nicosia, Ciper
37. University of Southern Denmark, Odense, Danska
38. University of Sydney, Key Centre for Polymers and Colloids, Sydney, Avstralija
39. University of Turku, Turku, Finska
40. University of Twente, Enschede, Nizozemska
41. University Paris, Nanomaterials group in the CSPBAT Laboratory, Pariz, Francija
42. Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Ljubljana
43. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
44. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Ljubljana
45. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
46. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana
47. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana
48. Univerza v Maribor Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
49. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
50. Univerza v Novi Gorici
51. VITO NV, Mol, Belgija
52. VTT Chemical Research Centre of Finland Espoo & Tampere, Tampere, Finska

ODSEK ZA RAZISKAVE SODOBNIH MATERIALOV

K-9

Na odseku za raziskave sodobnih materialov razvijamo inovativne materiale z razumevanjem medsebojnega vpliva njihovih strukturnih, mikrostrukturnih in funkcionalnih lastnosti. Z uporabo naj sodobnejših tehnologij, ki lahko natančno sintetizirajo materiale na atomski in mikro ravni, izdelujemo strukturne 3D materiale, tanke plasti in nanodelce, ki zagotavljajo specifične kristalne strukture, kemične sestave, mikrostrukture in morfologije. Naši ključni cilji obsegajo napredek: i) novih funkcionalnih oksidov za elektronske aplikacije in pretvorbo energije, ii) antibakterijskih in piezoelektričnih biokompatibilnih materialov ter iii) trajnostnih toplotnoizolacijskih materialov in superhidrofobnih premazov z izboljšanimi lastnostmi in trajnostjo.



Vodja:

prof. dr. Matjaž Spreitzer

Novi funkcionalni oksidi za elektronske aplikacije in pretvorbo energije

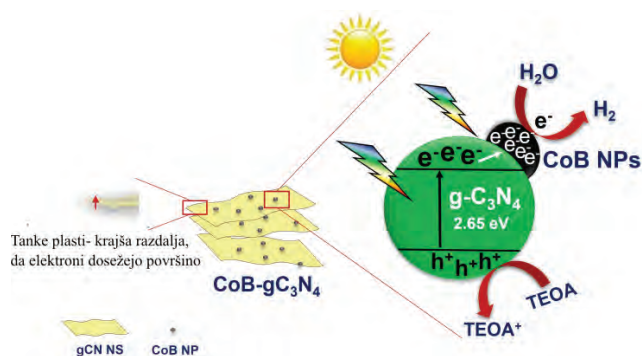
Pri načrtovanju novih in učinkovitih fotokatalizatorjev, katalizatorjev in piezokatalizatorjev je naša ekipa raziskovala napredne strategije za nizkotemperaturno pripravo (nano)struktur z morfologijami, ki sicer ne nastanejo spontano. Osredotočeni smo bili na hidrotermalne transformacije dvodimenzionalnih (2D) ploščic Aurivilliusove $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ faze v 2D perovskite ATiO_3 ($\text{A}=\text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ca}$). Pri usmerjanju transformacije za ohranitev 2D morfologije smo proučevali vlogo kakovosti izhodiščnih $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ploščic in strukturnega neskladja med vsemi pari $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{ATiO}_3$. Ugotovili smo, da so se monokristalinične (00L) orientirane $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ploščice z nizko koncentracijo strukturnih napak pretvorile v ploščice SrTiO_3 z (100) in CaTiO_3 z (00L) orientacijo. To je bilo mogoče tudi zaradi majhnega strukturnega neujemanja (1 %–2 %) v vseh ustreznih orientacijskih razmerjih med izhodiščnimi $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ploščicami in obema perovskitom. V tem primeru je transformacija potekala s sočasnim raztapljanjem ploščic $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ in z epitaktsialnim preraščanjem perovskitov (CaTiO_3 ali SrTiO_3) prek obeh bazalnih ploskev. Pri tem procesu so nastale 2D/2D epitaktsialne $\text{CaTiO}_3/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($\text{SrTiO}_3/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) heterostrukture na vmesni in 2D CaTiO_3 (SrTiO_3) ploščice na končni stopnji pretvorbe. Večje strukturno neskladje med BaTiO_3 in $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (~4 %) ni omogočilo epitaktsialne rasti BaTiO_3 po celotni bazalni površini $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ploščic in posledično nastali delci BaTiO_3 (kocke, oktaedri, nanopalice) niso ohranili oblike izhodiščnih ploščic. Vendar pa je bila transformacija $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ v 2D BaTiO_3 ploščice možna pod podobnimi alkalnimi hidrotermalnimi pogoji s pomočjo površinsko aktivne snovi, ki je domnevno pospešila relativno hitrost raztapljanja $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ plasti glede na psevdo perovskitno plast ($[\text{Bi}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}]^{2-}$), kar je omogočilo vstop ionov Ba^{2+} v strukturo, kjer so zamenjali Bi^{3+} ione v ($[\text{Bi}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}]^{2-}$ strukturnih enotah. V tem procesu so se $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ postopoma preoblikovale v ploščice BaTiO_3 z (100) orientacijo, ki je tudi v tem primeru določena z (00L) orientacijo izhodiščnih $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ploščic. Dokazali smo, da lahko s to metodo ploščice $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ pretvorimo v vse perovskite tipa ATiO_3 , vključno s trdnimi raztopinami $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ ($0 \leq x \leq 1$), pri čemer se v vseh primerih dobro ohrani začetna 2D oblika.

Raziskali smo več možnosti za usmerjanje transformacije do heterostrukturiranih ($\text{ATiO}_3/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) in perovskitnih (ATiO_3) ploščic ter našli načine za kontroliranje njihovih funkcionalnih lastnosti. Celo najenostavnejša metoda brez uporabe površinsko aktivne snovi je omogočila z ustreznimi modifikacijami pripravo ploščic z zelo različnimi funkcionalnostmi. Na primer, pripravili smo ploščice SrTiO_3 in $\text{SrTiO}_3/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ z nagubano površino, ki so pokazale več kot 100-krat večjo fotokatalitsko aktivnost za nastanek H_2 (iz raztopin metanol/ H_2O) v primerjavi s ploščicami z enako sestavo, vendar gladkimi površinami. Izboljšanje fotokatalitske učinkovitosti lahko pripišemo v hrapavi strukturi ujetim nanodelcem Bi° , ki delujejo kot sokatalizator. Zadržanje sokatalizatorjev žlahtnih kovin, kot so tudi nanodelci Bi° , predstavlja dodatno prednost 2D perovskitnih nanostruktur in heterostruktur, pripravljenih s hidrotermalno transformacijo ploščic $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$.

Aktivni smo bili tudi na področju razvoja drugih fotokatalizatorjev na osnovi 2D struktur. Da bi dosegli večjo učinkovitost pretvorbe sončne energije v vodik s fotokatalitsko cepitvijo vode, je naša skupina razvila 2D grafitne nanoplasti iz ogljikovega nitrída ($\text{g-C}_3\text{N}_4$). Kot polprevodnik z nizko energijsko špranjo (2,7 eV) je $\text{g-C}_3\text{N}_4$ eden najbolj obetavnih nizkocenovnih fotokatalizatorjev, odkritih v zadnjem desetletju. Vendar pa je redoks sposobnost $\text{g-C}_3\text{N}_4$ zelo slaba in izkazuje pomembno aktivnost za nastanek vodika le ob dodatku nanodelcev platine. Da bi preseglili odvisnost od platine, smo razvili poceni nanodelce kobaltovega borida (velikost < 5 nm), ki so

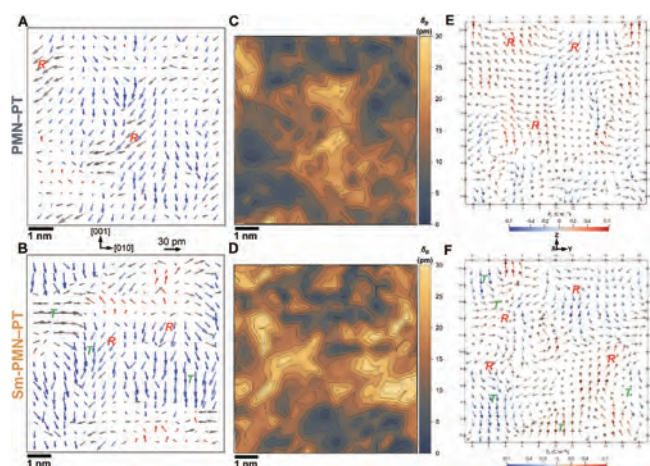
S hidrotermalno transformacijo pri nizkih temperaturah smo uspešno ohranili 2D morfologijo ploščic $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ med njihovo pretvorbo v različne perovskite tipa ATiO_3 .

Razvili smo nanodelce CoB , integrirane na površino nanoplasti $\text{g-C}_3\text{N}_4$, ki zadostno nadomestijo visokocenovno platino pri katalitski reakciji pridobivanja vodika.



Slika 1: Shematska ponazoritev mehanizma fotokatalitskega nastanka vodika v kompozitih CoB-gC₃N₄

Dopiranje s Sm bistveno izboljša lastnosti shranjevanja energije, piezoelektrične, elektrokalične in piroelektrične lastnosti tankih filmov PMN-PT.



Slika 2: Faze in nanodomenske strukture tankih filmov PMN-30PT in Sm-PMN-30PT. Premestitev atomov znotraj enote perovskite mesta B iz središča štirih sosednjih atomov mesta A (glej shemo na zgornjem levem robu) za (A) PMN-30PT in (B) Sm-PMN-30PT filme. Dolžina puščic kaže velikost relativne premestitve atomov mesta B iz idealne pozicije. Karte magnitude premestitve atomov mesta B (z konturnimi linijami) za (C) PMN-30PT in (D) Sm-PMN-30PT tanke filme. Modeliranje faznega polja nanodomenskih struktur (E) PMN-30PT in (F) Sm-PMN-30PT filmov.

Nanašanje reduciranega grafenskega oksida kot vmesnega sloja ohranja epitaksialno rast silicija na STO in poveča stabilnost proti koroziji.

in usmerjeno redoks reakcijo kot neepitaksialna, brez rGO. STO/rGO/Si z gladko in visoko epitaksijsko plastjo STO je pokazal boljše PEC lastnosti od STO/Si z neposrednim stikom, ki je pokazal teksturirano in polikristalinično plast STO. To je dokaz, kako pomembno je imeti dobro definirano pasivacijsko plast. Poleg tega so številne luknjice, ki so nastale na STO/Si v neposrednem stiku, povzročile hitro degradacijo fotokatode med meritvami PEC. Testi stabilnosti so pokazali, da je epitaksialna plast STO primerna za pasivacijo Si pred korozijo. Podobne poskuse smo izvedli še na germaniju, kjer smo pokazali, da je epitaksialna rast STO plasti s PLD bistveno enostavnejša na Ge kot na Si.

Z uporabo relativno visokega procesnega tlaka (Ar) med PLD smo dobili zelo nizko koncentracijo napak na grafenu.

bili neposredno integrirani na površino nanolistov gC₃N₄. Predvidevamo, da kompozit CoB-gC₃N₄ lahko absorbira širok del sončnega spektra (~450–700 nm), pri čemer se proizvede veliko parov elektron-vrzel. Morfologija nanoplasti razplastenega gC₃N₄ omogoča krajšo razdaljo, da fotogenerirani naboji dosežejo površino, kjer se elektroni takoj ujamejo v nanodelcih CoB, kar prepreči njihovo rekombinacijo. Z elektroni obogateni nanodelci CoB ponujajo aktivne redoks centre v obliki površinskih mest bora in kobalta z ugodno H-adsorpcijsko energijo za spodbujanje reakcije nastanka vodika. To se je pokazalo z več kot 60-krat večjo stopnjo nastajanja vodika v kompozitu CoB-gC₃N₄ v primerjavi s čistimi nanoplastmi gC₃N₄.

Rastoče povpraševanje po miniaturnih in nanoskopskih električnih napravah zahteva multifunkcijske materiale, ki so sposobni shranjevanja energije, hitrega sproščanja shranjene energije ter izkoriščanja toplote, ki nastane med proizvodnjo energije. Nedavno so masivni materiali s primesmi Sm v Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ (Sm-PMN-PT) pokazali izjemne feroelektrične in piezoelektrične lastnosti zaradi izboljšane lokalne strukturne heterogenosti. S tehniko pulzne laserske depozicije (PLD) smo dosegli epitaksialne tanke plasti in dokazali, da primes Sm izboljša shranjevanje energije, piezoelektrične, elektrokalične in piroelektrične lastnosti tankih slojev PMN-PT. Izmerili smo mehansko in termično stabilne parametre shranjevanja energije ter velikanski elektrokalični učinek (59,4K) in piroelektrično energijsko gostoto (40 J/cm³), pa tudi izredno visoko piroelektrično učinkovitost, ki je dosegla 85,5 % vrednosti Carnovega cikla. Z uporabo vrstične presečne elektronske mikroskopije in modeliranjem faznega polja smo ugotovili, da te gigantske lastnosti izhajajo iz povečane lokalne strukturne heterogenosti in močnih lokalnih električnih polj vzdolž smeri spontane polarizacije, kar olajša nukleacijo polarnih struktur, podobnih mešanici z izjemno majhnimi velikostmi domen (2–5 nm). Naše ugotovitve kažejo, da imajo filmi Sm-PMN-PT pomemben potencial za kapacitivno shranjevanje energije in elektrotermalno pretvorbo energije ter ponujajo strategijo, ki je uporabna tudi za druge relaksorske feroelektrične materiale pri razvoju robustnih, multifunkcijskih materialov.

Razvoj robustne fotokatode z uporabo poceni in visoko zmogljivih materialov, npr. p-Si, za proizvodnjo čistega gorivnega vodika ostaja izziv, saj je polprevodniški substrat v fotoelektrokemičnih (PEC) pogojih delovanja zlahka dovzeten za (foto)korozijo. Zato je potreben zaščitni sloj na substratu, ki hkrati zagotavlja odpornost proti koroziji in ohranja učinkovit prenos naboja po napravi. Z uporabo pulznega laserskega nanašanja (PLD) smo pripravili visokokakovostno plast SrTiO₃ (STO) za pasivacijo podlage p-Si z uporabo plasti reduciranega grafenskega oksida (rGO). Zelo tanka (3,9 nm ~10 enotskih celic) plast STO, epitaksijsko preraščena na Si s pufrsko plastjo rGO, je pokazala najvišji začetni potencial (0,326 V proti RHE) v primerjavi s primerki z debelejšim in/ali nepitaksialnim STO. Meritve fotonapetosti, potenciala ravnih energijskih pasov in elektrokemične impedančne spektroskopije so pokazale, da je epitaksialna fotokatoda ugodnejša za ločevanje nabojev, prenos nabojev

Za rast tankih filmov HfO₂ na grafenu/SiO₂/Si smo prav tako uporabili tehniko pulzne laserske depozicije. Ker je grafen pod standardnimi pogoji nanosa oksidnih filmov lahko poškodovan, je treba postopek prilagoditi,

da se zmanjšajo oksidacija in poškodbe zaradi trkov atomov. Izvedli smo sistematično študijo, da bi identificirali ključne parametre nanosa, ki zmanjšujejo koncentracijo napak v grafenovem vmesnem sloju. V našem primeru so bili defekti predvsem posledica visoke kinetične energije delcev plazme. Z uporabo relativno visokega procesnega tlaka Ar smo zagotovili zadostno nizko koncentracijo napak, ne da bi pri tem ogrozili kakovost tankih filmov HfO_2 . To nam je omogočilo uspešno pripravo pomnilniških naprav s filamentnim tipom preklopa, pri čemer smo uporabili plast grafena kot spodnjo elektrodo. Ugotovitve te študije je mogoče enostavno prenesti na druge sisteme za razvoj oksidnih elektronskih naprav. Rezultati so objavljeni kot znanstveni članek v reviji *Advanced Functional Materials* (<https://doi.org/10.1002/adfm.202309558>).

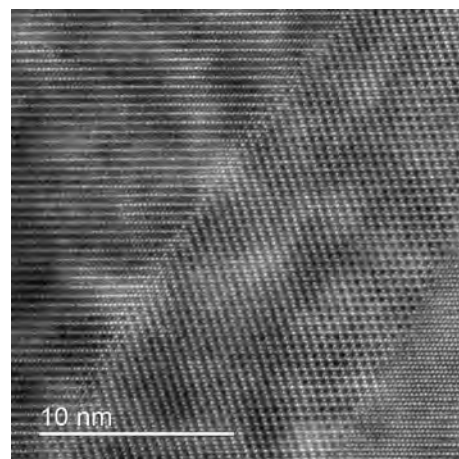
Naše raziskave so se razširile tudi na področje polprevodniških baterij. Z metodo PLD smo pripravili tanke plasti $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ (NMC) materiala na $\text{SrRuO}_3/0,5\%$ ut. Nb-dopiranih SrTiO_3 (Nb:STO) substratih z (001), (110) in (111) orientacijo v smeri rasti. Na mikrostrukturni ravni so bile opažene dvojčne domene, povezane z različnimi orientacijami slojev litija v NMC tankih plasteh. Vpliv kristalne orientacije na elektrokemijske lastnosti NMC vzorcev smo preizkušali z galvanostatskim polnjenjem in praznjenjem materiala v akumulatorjih pri različnih tokovih.

Zaradi pogostega pojava sekundarnih faz pri pripravi epitaksialnih tankih plasti $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) anodnega materiala na Nb:STO substratih smo pripravili vzorce LTO na Nb:STO substratih, na katere je bil epitaksialno nanosena tanka medplast $\text{La}_{0,05}\text{Ba}_{0,95}\text{SnO}_3$ (LBSO). Namen medplasti je bil ustvariti bolj ugodne pogoje za rast enofaznega LTO materiala, saj je konstanta osnovne kristalne celice za LBSO bližje LTO-ju kot Nb:STO. Opravljena je bila primerjava strukturnih in elektrokemijskih lastnosti LTO vzorcev z LBSO medplastjo in brez medplasti, pri čemer je bila najbolj izrazito zmanjšana tvorba sekundarnih faz predvsem za LTO vzorce z LBSO medplastjo z (110) orientacijo v smeri rasti, hkrati pa prisotnost medplasti ni povzročila upada kapacitete LTO vzorcev pri galvanostatskem polnjenju in praznjenju.

Nadaljevali smo z raziskavami ploskovnih defektov tipa Ruddlesden-Popper (RP) znotraj zrn $\text{Li}_{1-3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$ (LLTO), keramičnega materiala za potencialno uporabo kot trdni elektrolit. Pri LLTO z začetnim razmerjem $\text{La}:\text{Ti}$ 0.6 in presežkom Li se razvoj mikrostrukture začne z nastankom slojevite faze $\text{Li}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ tipa RP in nadaljuje s kristalizacijo perovskita LLTO (slika 4). Prednostno nastajanje faze $\text{Li}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ pri nižjih temperaturah v primerjavi s perovskitom LLTO smo potrdili z izračuni DFT. Defekti tipa RP vplivajo na pretirano rast LLTO zrn. Pri 1250 °C ploskovni defekti postanejo termično nestabilni in postopoma rekristalizirajo v perovskit LLTO prek ionske izmenjave, kar smo določili s kvantitativno analizo HAADF-STEM. Pri višjih temperaturah sintranja se mikrostruktura razvija prek Ostwaldovega zorenja. S tem pristopom nam je uspelo pripraviti LLTO keramiko z grobozrnatno mikrostrukturo in tako zmanjšati volumski delež mej med zrnji z visoko upornostjo.

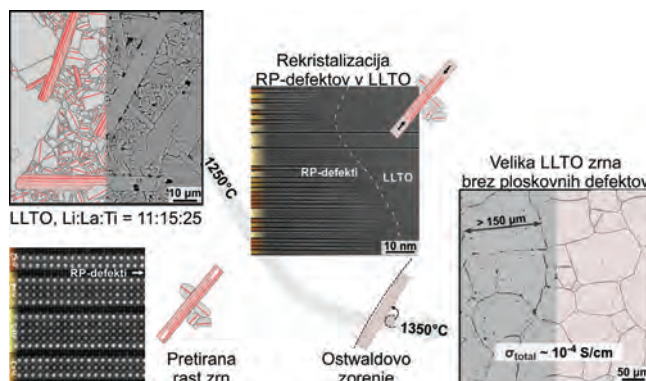
Pripravili smo tudi epitaksialne tankoplastne mikrobaterije z nanosom LTO | LLTO | NMC materialov na Nb:STO substrate z (001), (110) in (111) orientacijo v smeri rasti. Z rentgensko difrakcijo smo potrdili prisotnost posameznih faz in njihovo epitaksialno rast. Na pripravljenih mikrobaterijah so bile opravljene tudi preliminarne meritve elektrokemijskih lastnosti v prilagojeni izvedbi akumulatorskih celic.

V okviru temeljnega raziskovalnega projekta *Nanostrukturne raziskave difuzijsko kontroliranih procesov med topotaksialnimi faznimi transformacijami v mineralih tipa rutil-korund*, financiranega s strani ARIS (J1-9177), smo raziskovali možnost priprave pseudobrookitne keramike ($\text{Fe}_2\text{TiO}_5\text{-FeTi}_2\text{O}_7$) za termoelektrične aplikacije iz naravnih težkih mineralnih peskov, ki vsebujejo visok delež Fe in Ti (TMP). TMP, bogati s Fe in Ti, so pogosta, ekonomična in okolju prijazna surovina in se običajno uporabljajo za pridobivanje TiO_2 . Začetne prahove, sestavljene pretežno iz ilmenita (FeTiO_3) in pseudorutila ($\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$), smo predhodno delno oksidirali in s tem vplivali na razmerje $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ in izločanje rutilnih lamel iz ilmenita. Prahove smo nato zgostili z uporabo konvencionalnega sintranja in sintranja v pulzirajočem toku (SPS) v argonovi atmosferi. Medtem ko se pri sintezi visokotehnološke funkcionalne keramike običajno uporabljajo drage kemikalije z visoko stopnjo čistosti, so naši rezultati pokazali, da ima pseudobrookitna keramika, pripravljena iz naravnih surovin, primerljive lastnosti kot keramika, pripravljena iz vhodnih kemikalij z visoko stopnjo



Slika 3: Meja dvojčka v tankem filmu NMC

S tehniko PLD smo pripravili epitaksialne tankoplastne mikrobaterije, z nanosom LTO | LLTO | NMC materialov na Nb:STO substrate



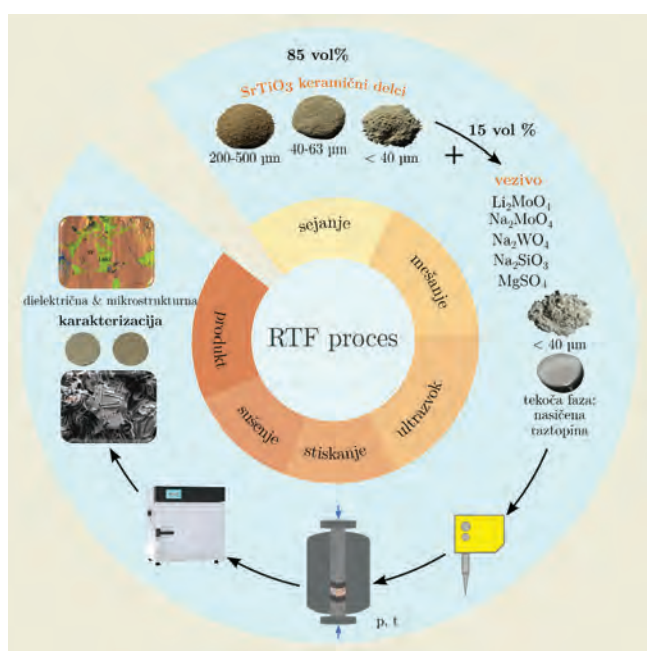
Slika 4: Razvoj mikrostrukture LLTO keramike, ki pri nižjih temperaturah sintranja vsebuje ploskovne defekte tipa Ruddlesden-Popper. Končna mikrostruktura LLTO je sestavljena iz velikih zrn brez defektov in ima izboljšano ionsko prevodnost.

Z uporabo naravnega in poceni peska, bogatega z železom in titanom, smo dosegli primerljive termoelektrične lastnosti, kot če bi uporabili kemikalije z visoko čistostjo.

čistosti. Pokazali smo, da so termoelektrične lastnosti sintranih vzorcev odvisne od razmerja Fe:Ti ter posledično deleža in porazdelitve rutila v mikrostrukturah ter predvsem od razmerja $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$. Rezultati nakazujejo, da so naravnimi težki mineralni peski bogati s Fe in Ti in z okoli ~95 % čistostjo obetavna surovina za pripravo keramike za termoelektrične aplikacije. Rezultati so objavljeni v znanstvenem članku *Journal of the European Ceramic Society* (doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.07.071>).

Naše raziskave vključujejo preučevanje metode zgoščevanja keramike pri sobni temperaturi (RTF, Room Temperature Fabrication), ki temelji na uporabi delno vodotopne anorganske spojine, ki se strdi pod vplivom stiskanja pri sobni temperaturi. Ta metoda predstavlja alternativo visokotemperaturnemu sintranju keramike, ki je časovno in energijsko potratno. V preteklem letu smo proučevali t. i. obrnjene kompozitne sisteme z uporabo različnih veziv, kot so Li_2MoO_4 , Na_2SiO_3 , Na_2MoO_4 , Na_2WO_4 in MgSO_4 . Prvič smo izvedli testiranje mehanskih lastnosti

Izbira veziva za pripravo kompozita s tehniko RTF je ključna, saj pomembno vpliva na dielektrične in mehanske lastnosti.



Slika 5: Shema procesa zgoščevanja keramičnih kompozitov pri sobni temperaturi

tovrstnih kompozitov na osnovi veziva in SrTiO_3 z metodo biaksialnega upogibanja. Primerjali smo mehansko trdnost kompozitov z vezivnimi monoliti in SrTiO_3 keramiko. Ugotovili smo, da je izbira veziva ključnega pomena, saj pomembno vpliva na dielektrične in mehanske lastnosti. Mehanska trdnost kompozitov Na_2SiO_3 - SrTiO_3 je kar sedemkrat večja kot pri kompozitih Li_2MoO_4 - SrTiO_3 . Poleg tega smo naša eksperimentalna opažanja dopolnili z uporabo simulacij OOF2 (Object-oriented Finite element analysis), ki lahko generirajo uporabne podatke s posnetkov mikrostrukture. Tako smo razložili vpliv razpok in uporabe prevlek na delcih SrTiO_3 na polarizacijo električnega polja in dielektrično konstanto pripravljenih kompozitov. Eksperimentalni rezultati kažejo, da pripravljeni kompoziti izkazujejo relativno dielektričnost med 67 in 129 ter dielektrične izgube od 0,0029 do 0,0142 v radijskem in mikrovalovnem frekvenčnem območju. Z metodo RTF smo pripravili kompozite z dielektrično konstanto med 20 in 50 % konvencionalno sintrane keramike SrTiO_3 , zato so takšni materiali obetavni za pripravo pasivnih elektronskih komponent.

Na področju raziskav visokotemperaturnih faznih ravnotežij v ternarnih oksidnih sistemih, kjer se tvorijo nove spojine oziroma trdne raztopine z izraženimi električnimi lastnostmi, smo določali v sistemu La_2O_3 - TiO_2 - Ta_2O_5 reakcijske pogoje nastanka enofazne keramike na osnovi spojine $\text{La}_4.5\text{Ta}_2\text{O}_{12}$, ki se do sedaj v znanstveni literaturi pojavlja kot spojina z molskim razmerjem La_2O_3 : Ta_2O_5 je 1:5, 1:6 in celo 1:7.

Na področju raziskav hladnega sintranja (CSP) izbranih glinenih mineralov pri temperaturah pod 300 °C, kot so kaolinit, ilit, sepiolit, smo uspešno pripravili monolitne vzorce brez razpok, kar smo pokazali z rentgensko mikrotomografijo. Izbrani vzorci imajo višje vrednosti upogibne trdnosti kot vzorci, sintrani pri 1300 °C.

Antibakterijski in piezoelektrični biokompatibilni materiali

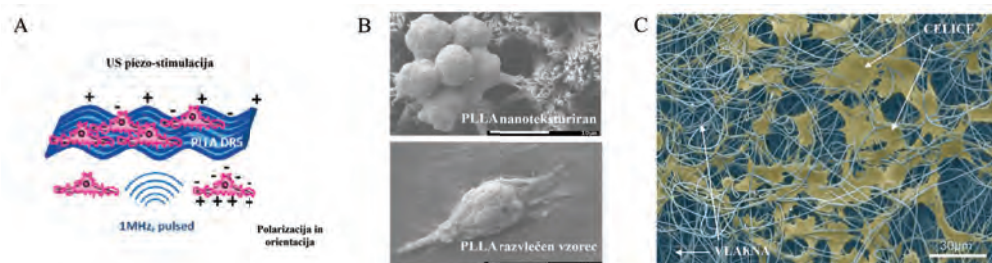
Na področju biomaterialov se naše delo osredotoča na oblikovanje novih pristopov pri zdravljenju in regeneraciji tkiv z razvojem organskih piezoelektričnih biomaterialov in novih antimikrobnih tehnologij. V okviru projekta, ki se je letos končal, *Elektrostimulatorji z vizualno detekcijo mehanske deformacije in napetosti: inovativni piezoelektrični biomateriali za elektro-stimulirano celično rast*, ki je bilateralno sodelovanje s švicarskim partnerjem iz Inštituta za robotiko in inteligentne sisteme (ETH), smo oblikovali nove piezoelektrične biomaterialne na osnovi poli-l-laktida (PLLA) z majhno količino (1 % mase) kristaliničnih polnilnih delcev. To je povečalo njihovo

Razvoj piezoelektričnih biomaterialov na osnovi PLLA, mešanih s funkcionalnimi nano/mikro delci, je povečal izhodno napetost in pokazal obetavne možnosti za nadzor okužb in aplikacije na področju tkivnega inženirstva.

piezoelektričnost, pri čemer so filmi, modificirani s polnilom, zagotavljali 20-krat večjo izhodno napetost kot nemedificirani PLLA med aktivacijo z ultrazvokom (slika 6 A). Na piezoelektričnih PLLA vzorcih v obliki raztegnjenega filma ali z nanoteksturo na površini smo opazovali tudi imunski odziv v primeru implementacije (slika 6 B) ter opazili približno 20 % diferenciacijo krvnih monocitov v makrofage, ki delujejo kot prva obrambna linija proti bakterijam, virusom ali drugim tujim materialom.

Nadaljevali smo raziskave z antibakterijskimi materiali na osnovi galija. Z uporabo analiz FTIR in DSC smo sklepali o interakcijah znotraj kompozita nanodelcev galija s polilaktidom in preverjali njihovo celično združljivost s keratinocitnimi celicami. Te so se v prisotnosti kompozitnih filmov normalno razvijale in se uspešno pritrdile nanje. Prav tako smo preverili stabilnost koloidne raztopine nanodelcev galija ter njihovo raztapljanje v različnih vodnih medijih in začeli podrobneje proučevati njihov mehanizem delovanja proti bakteriji *P. aeruginosa*.

Prav tako smo začeli raziskave za razvoj biokompatibilnih elektrospiniiranih vlaken z namenov tkivnega inženirstva (slika 6 C). Skupaj s sodelavci z odseka za tehnologijo površin (F4) smo proučevali vpliv sprememb površine, ki jih povzroča plazma, na značilnosti teh materialov. V okviru projekta *Antimikrobne površine na podlagi kontakta na zahtevo: strategija za nadzor okužb prijazna ljudem in okolju* razvijamo visoko antimikrobne materiale na osnovi kompozitnih filmov piezoelektričnih in antimikrobnih nanodelcev. Kombiniramo piezoelektričnost kompozitnih filmov PLLA in kontaktne antimikrobne mehanizme funkcionaliziranih zlatih nanopartikelov, da dosežemo sinergijo teh dveh učinkov in povečamo antimikrobne lastnosti teh materialov.



Slika 6: (A) Ultrazvočno posredovana mehanska stimulacija piezoelektričnega filma PLLA aktivira nastajanje naboja na površini, kar vpliva na polarizacijo človeških keratinocitnih celic, posnemajoč naravno nastal endogeni potencial; (B) makrofagi, diferencirani iz monocitov, pritrjeni na nanoteksturirano ali raztegnjeno površino PLLA; (C) opazili smo dobro biokompatibilnost med keratinocitnimi celicami in elektrospiniiranimi vlakni PLLA.

Materiali za toplotnoizolacijske aplikacije in superhidrofobne površinske premaze

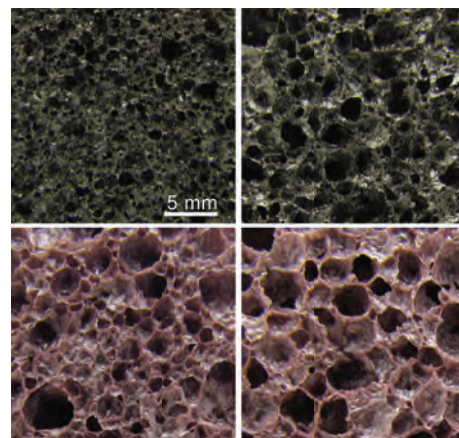
Izolacijski materiali igrajo ključno vlogo v sodobnih gradbenih praksah, zlasti v kontekstu energetske učinkovitosti in trajnosti. Kot sestavni deli zgradb služijo za uravnavanje notranjih temperatur, zmanjšanje porabe energije za ogrevanje in hlajenje ter zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Glede na globalne skrbi glede podnebnih sprememb in nujnega prehoda na bolj trajnostne prakse pomena gradbenih izolacijskih materialov ni mogoče preceniti. Enako velja za raziskave na dotičnem področju kjer bodo v luči sprememb v povezavi s kritičnimi surovinami vedno bolj pomembno vlogo igrali tudi alternativni in recikrirani materiali.

Skladno z omenjenimi smernicami smo nadaljevali z raziskavami penjenega stekla, kjer se osredotočamo na trajnostni vidik sinteze tega izdelka z visoko dodano vrednostjo. Direktna uporaba odpadnega stekla v sinteznem postopku, ki minimizira vpliv na okolje, lahko vpliva na kakovost izdelka predvsem zaradi nezaželene kristalizacije. Pokazali smo, da lahko z uporabo vodnega stekla zmanjšamo delež kristalizacije pri penjenju stekla odpadnih steklenic, kar ugodno vpliva na končne lastnosti materiala. V nadaljevanju raziskave smo pokazali, da lahko s postopkom hidriranja spremenimo lastnosti odpadnega stekla do te mere, da nadomesti vlogo vodnega stekla v postopku penjenja. Z uporabo vodnega stekla ali hidriranega odpadnega stekla se postopek penjenja lahko izvaja v zračni atmosferi, kar še dodatno pripomore k trajnosti raziskovanega postopka.

V sklopu projekta ReMaBrick raziskujemo potencialno recikliranje odpadnega kompozita s steklenimi vlakni v pripravi žgane opeke za gradbeništvo. Polimeri, ojačani z vlakni, so eden izmed pomembnih materialov, uporabljenih v hitrorastoči industriji vetrne energije. Ob vedno večjem številu vetrnih elektrarn lahko v prihodnosti pričakujemo tudi potrebo po recikliranju materialov, ki jih te vsebujejo in za sedaj še nimajo ustreznih možnosti za recikliranje. Vključitev odpadnega kompozita ugodno vpliva na ogljični odtis končnega izdelka, saj nadomesti del surovin, zaradi steklaste faze v kompozitu pa se zniža tudi potrebna temperatura žganja opeke. Preizkusili smo vrsto kombinacij odpadnega materiala in dveh vrst gline, pri čemer tudi vzorci z visokimi deleži odpadnih materialov (do 30 ut.%) izkazujejo obetavne lastnosti.

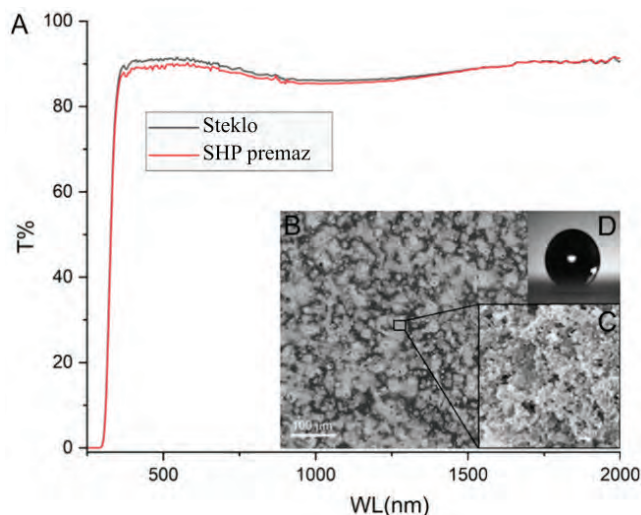
Osrednji cilj projekta AMULET je ustvariti nove verige vrednosti s podporo široki uporabi naprednih lahkih materialov. Osredotočeni na medregijsko in medsektorsko izmenjavo znanja smo dejavni v štirih ključnih sektorjih: mobilnost, letalstvo in aeronavtika, energetika ter gradbeništvo. Skupaj se približujemo doseganju našega cilja, ki je spodbujanje inovacij in napredka tehnologij v teh vitalnih industrijah. V projektu AMULET ima naš odsek ključno vlogo pri zagotavljanju podpore malim in srednjim podjetjem (MSP) pri odkrivanju in razvijanju novih tehnoloških rešitev. Osredotočili smo se na uporabo našega znanja na različnih področjih karakterizacije in testiranja materialov v razvoju inovativnih izdelkov in izboljšanju njihovega tržnega potenciala.

Uporaba hidriranega odpadnega stekla ugodno vpliva na kakovost izdelka predvsem zaradi lastnosti toplotne prevodnosti končnega materiala.



Slika 7: Struktura penjenega stekla v odvisnosti od atmosfere peči (zgoraj Ar; spodaj zrak) in količine dodanega vodnega stekla (levo 12 mas.%, desno 24 mas.%).

Kombinacija hidrofnih SiO₂ nano delcev prahu v polimernem vezivnem sistemu rezultira v superhidrofobni prevleki s kontaktnim kotom >160° in le 4-odstotno izgubo prepustnosti.



Slika 8: Super hidrofnni premaz. (A) Prepustnost navadnega stekla v primerjavi s super hidrofnnim premazom; (B) SEM slika mikrostrukture super hidrofnnega premaza in (C) nanostrukture ter (D) stični kot premaza s kapljico vode.

Sončne celice so pogosto nameščene na prostem, a sčasoma se na njihovih površinah nabira umazanija, kar zmanjšuje njihovo sposobnost absorpcije sončne svetlobe ter znižuje njihovo učinkovitost pri proizvodnji električne energije. Trenutno se za čiščenje celic uporablja drago ročno ali strojno čiščenje. Z uporabo metode nanosa s pršenjem razvijamo superhidrofobne (SHP) premaze z mikro/nano dualnimi strukturami. Ti premazi so bolj obetavni in ekonomični zaradi svoje samočistilne sposobnosti. Izdelali smo superhidrofoben premaz z visokim 166° stičnim kotom in samo 4-odstotnim zmanjšanjem prepustnosti svetlobe z uporabo kombinacije hidrofnih SiO₂ nano-prahov in polimernega vezivnega sistema.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Jovanović, Zoran M., Trstenjak, Urška, Ho, Hsin-Chia, Butsyk, Oleana, Chen, Binbin, Tchernychova, Elena, Borodavka, Fedir, Koster, Gertjan, Hlinka, Jiří, Spreitzer, Matjaž, Tiling the silicon for added functionality: PLD growth of highly-crystalline STO and PZT on graphene oxide-buffered silicon surface, *ACS applied materials & interfaces*, 2023, 15, 4, 6058–6068, DOI: 10.1021/acsami.2c17351
2. Ho, Hsin-Chia, Smiljanić, Milutin, Jovanović, Zoran M., Čekada, Miha, Kovač, Janez, Koster, Gertjan, Hlinka, Jiří, Hodnik, Nejc, Spreitzer, Matjaž. Robust, SrTiO₃ passivation of silicon photocathode by reduced graphene oxide for solar water splitting, *ACS applied materials & interfaces*, 2023, 15, 37, 44482–44492, DOI: 10.1021/acsami.3c07747
3. Trstenjak, Urška, Daneu, Nina, Belhadi, Jamal, Samardžija, Zoran, Matavž, Aleksander, Bobnar, Vid, Koster, Gertjan, Spreitzer, Matjaž,

Non-stoichiometry and its implications for the properties of PMN-PT thin films, *Journal of materials chemistry C*, 2023, 11, 3, 1144–1154, DOI: 10.1039/D2TC04070K

4. Vukomanović, Marija, Gazvoda, Lea, Kurtjak, Mario, Maček, Marjeta, Spreitzer, Matjaž, Pané, Salvador, *et al.*, Filler-enhanced piezoelectricity of poly-L-lactide and its use as a functional ultrasound-activated biomaterial, *Small*, 2023, 19, 35, 2301981, DOI: 10.1002/sml.202301981
5. Daneu, Nina, Radošević, Tina, Bernik, Slavko, Hanžel, Darko, Mazaj, Matjaž, Maček, Marjeta, Verhovšek, Dejan, Kocjan, Andraž, Vrabec, Mirijam, Spreitzer, Matjaž, Guilmeau, Emmanuel, Thermoelectric properties of pseudobrookite-based ceramics prepared from natural Fe-Ti-rich heavy mineral sand concentrate, *Journal of the European ceramic society*, 2023, 43, 16, 7500–7507, DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.07.071
6. Borštnar, Petruša, Žuntar, Jan, Spreitzer, Matjaž, Dražič, Goran, Daneu, Nina, Exaggerated grain growth and the development of coarse-grained microstructures in lithium lanthanum titanate perovskite ceramics, *Journal of the European ceramic society*, 2023, 43, 3, 1017–1027, DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2022.11.004

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Electronic Materials & Applications Meeting (EMA 2023), Ameriško keramično društvo, Orlando, ZDA, 17.–20. 1. 2023; predsedovanje konferenci in organizacija simpozija
2. 15. Študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana (IPSSC23), Kamnik, 31. 5.–2. 6. 2023; soorganizacija konference
3. Materials Science & Technology 2023 Conference, Ameriško keramično društvo, Columbus, ZDA, 1.–4. 10. 2023; organizacija simpozija

Nagrade in priznanja

1. Suraj Gupta: Nagrada za najboljši poster, Singapur, Singapur, podelil Elsevier na Materials Today Conference 2023, za poster z naslovom SrTiO₃ based two dimensional nanoplatelets for low-cost solar hydrogen generation
2. Blaž Jaklič: Najboljša študentska poster predstavitev, Pariz, Francija, podelil organizacijski odbor na International Workshop on the Characterisation & Quantification of Lithium

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Noveon - IJS; Raziskovanje spojin NdDyCoCuFe na osnovi redkih zemelj Noveon Magnetics Inc.
prof. dr. Matjaž Spreitzer
2. Razvoj in karakterizacija vlaken mineralne volne in vezivnih sistemov Knauf Insulation SPRL
prof. dr. Matjaž Spreitzer
3. COST CA20116; OPERA - Evropska mreža za inovativno in napredno epitaksijo COST Association AISBL
prof. dr. Matjaž Spreitzer
4. COST CA22123; EU-MACE - Evropski center za pospeševanje materialov za energijo COST Association AISBL
Suraj Gupta, Ph.D., Indija
5. H2020 - AMULET; Napredni materiali in proizvodnja za LightWEIGHT European Commission
dr. Jakob König
6. EDF; AMALIA - Izdelava lahkih kovinskih materialov na osnovi auksetičnih struktur za osebno zaščito vojaka z dodatnimi metodami European Defence Agency (EDA)
prof. dr. Matjaž Spreitzer
7. OE - ANEMEL; Anionska izmenjalna membranska elektroliza iz nizko kakovostnih vodnih virov European Commission
Suraj Gupta, Ph.D., Indija
8. OE - INDUSAC; Z industrijskimi izzivi in človeškimi viri gnani ko-kreacijski mehanizmi sodelovanja med industrijo in raziskovalno sfero European Commission
prof. dr. Matjaž Spreitzer
9. ReMaBrick - Z integracijo recikliranih materialov v glineno opeko do krožnega gospodarstva v gradbeništvu Innovation Fund Denmark
dr. Jakob König
10. NATO - FRAPCOM; Prilagodljivi nano-feroelektriki za hitro hlajenje bojne elektronike NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Matjaž Spreitzer
11. Večslojni hibridni nosilci celic z antimikrobnimi, protivnetnimi, proangiogenimi in piezoelektričnimi lastnostmi kot personalizirane obloge za celjenje ran Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. ddr. Marija Vukomanović

PROGRAM

1. Sodobni anorganski materiali in nanotehnologije
prof. dr. Matjaž Spreitzer

PROJEKTI

1. Modelni sistemi medfaznih površin za izboljšanje elektrokemijskih lastnosti z nikljem bogatih NMC spojin v litij ionskih akumulatorjih
prof. dr. Matjaž Spreitzer
2. Podledeniški karbonatni sedimenti - nov vir za preučevanje obstoja ledenikov v glaciokraškem okolju
prof. dr. Srečo Davor Škapin
3. Načrtovanje napetosti in domenskih struktur v epitakslialnih tankih plasteh relaksorskih feroelektrikov
prof. dr. Matjaž Spreitzer
4. Elektrostimulatorji z vizualno detekcijo mehanske deformacije in napetosti: inovativni piezoelektrični biomateriali za elektro-stimulirano celično rast
doc. ddr. Marija Vukomanović
5. Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Matjaž Spreitzer
6. Fotoelektrokemijski razvoj vodika iz epitakslialnih heterostruktur silicij-oksidi
prof. dr. Matjaž Spreitzer
7. Polprevodniško-dielektrične heterostrukture za foto-elektro-kemijski razvoj vodika
prof. dr. Matjaž Spreitzer
8. Ploskovne napake v naravnih in sintetiziranih perovskitnih oksidih: nanogeokemijski indikatorji in funkcionalne medpovršine
prof. dr. Nina Daneu
9. Sintranje glinenih materialov s stiskanjem pri hidrotermalnih pogojih
prof. dr. Srečo Davor Škapin
10. Večnivojsko modeliranje fotokatalitske CO₂ redukcije z računalniško intenzivnimi simulacijami (multiPHOCOS)
dr. Marjeta Maček Kržmanc
11. Inovativni postopki obdelave površin za napredne lastnosti medicinskega jekla
doc. ddr. Marija Vukomanović
12. Inovativna obdelava površin zobnih nadomestkov s plinsko plazmo
doc. ddr. Marija Vukomanović
13. Antimikrobne površine na podlagi kontakta na zahtevo: strategija za nadzor okužb prijazna ljudem in okolju
doc. ddr. Marija Vukomanović
14. Priprava dvodimenzionalnih (2D) elektrokatalizatorjev na osnovi boridenov za vodne elektrolizatorje z anionsko izmenjalno membrano
Suraj Gupta, Ph.D., Indija
15. Oddaljena epitaksija tankih plasti Ag(Nb,Ta)O₃ skozi grafen - Sinergijski pristop za izboljšanje zmogljivosti shranjevanja energije
dr. Urška Trstenjak
16. ANTISOLVO - Pridobivanje koristnih elementov iz odsluženih Nd-Fe-B magnetov z obarjanjem z uporabo antilopil Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
prof. dr. Srečo Davor Škapin

OBISKI

1. Darija Petković, Vinča Nuclear Research Institute, Beograd, Srbija, 12. 2.-8. 4. 2023
2. dr. Thomas Lippert, dr. Daniele Pergolesi in dr. Nikita Shepelin, Paul Scherrer Institut, Villigen, Švica, 22.-24. 2. 2023
3. dr. Jiří Hlinka, dr. Olena Butsyk, dr. Fedir Borodavka, dr. Alexis Theodorou, dr. Eva Sediva in Nastja Pylypets, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Praga, Češka, 9. -10. 5. 2023
4. dr. Federico Baiutti, Catalonia Institute for Energy Research, Barcelona, Španija, 7.-11. 8. 2023
5. dr. Jamal Belhadi, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Picardie Jules Verne, Francija, 4.-16. 10. 2023
6. dr. Matija Čulo, dr. Marko Kuveždić in dr. Damir Dominko, Institut za fiziko, Zagreb, Hrvatska, 30. 11. 2023
7. dr. Zoran Jovanović, dr. Sonja Jovanović, dr. Željko Mravik, Marko Jelić in Darija Petković, Vinča Institute of Nuclear Science, Beograd, Srbija, 3.-6. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Petruša Borštner: Quantitative analysis of STEM images: RP-defects in Li_{0.33}La_{0.56}~0.11TiO₃, 24. 4. 2023
2. Petruša Borštner: Functionalities of RP-type defects in Li_{0.33}La_{0.56}TiO₃, 27. 11. 2023
3. Lucija Bučar: Pulsed laser deposition of epitaxial SrTiO₃ films on germanium for water splitting, 22. 5. 2023
4. Alja Čontala: Topochemical conversion for the formation of functional heterostructural perovskite titanates from Bi₄Ti₃O₁₂ platelets, 12. 1. 2023
5. dr. Matija Čulo: Interplay between correlations and disorder in manganites, 30. 11. 2023
6. David Fabijan: Ophidiophobia!, 5. 6. 2023

7. Lea Gazvoda: How does electrical stimulation through a piezoelectric polymer film of poly-L-lactic acid affect cell behaviour? 2. 11. 2023
8. dr. Suraj Gupta: Green hydrogen production from water-splitting: An overview of concepts and workplan, 17. 4. 2023
9. dr. Zouhair Hanani: Piezoelectric, energy storage properties and electrocaloric effect of Sm-doped PMN-30PT thin films prepared by PLD, 13. 2. 2023
10. dr. Zouhair Hanani: Why Relaxor Ferroelectrics are Important in Next-Generation Electronics, 4. 12. 2023
11. dr. Jiří Hlinka: Antisymmetrical Topological States in Ferroelectrics, 10. 5. 2023
12. dr. Hsin-Chia Ho: Heterojunction coupled with plasmonic resonance for solar water oxidation, 29. 5. 2023
13. Uroš Hribar: Use of Hydrosilicates for Glass Foam, 13. 3. 2023
14. Blaž Jaklič: Effect of oxygen pressure on structural and electrochemical properties of epitaxial LiNi_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33}O₂ thin film cathodes, 30. 1. 2023
15. Blaž Jaklič: Practical aspects of surface and interface analysis with X-ray photoelectron spectroscopy, 20. 11. 2023
16. dr. Špela Kunjč: Spray-coating fabrication of super-hydrophobic coatings from nanoparticles and commercial binders, 9. 10. 2023
17. dr. Mario Kurtjak: Nanogallium-filled polylactide, 27. 2. 2023
18. dr. Marko Kuveždić: Parallel conducting channels in amorphous alloys of early and late transition metals, 30. 11. 2023
19. Nina Kuzmić: Mechanical properties of ceramics and ceramic composites, 3. 4. 2023
20. dr. Thomas Lippert: Pulsed Laser Deposition: Preparing Model Systems for Studies on Energy Materials, 24. 2. 2023
21. dr. Sonja Smiljanić: Results of the project Control of crystallization in glass materials for thermal insulation, 27. 3. 2023
22. dr. Srečo Davor Škapin: Applicability of the cold sintering process to clay minerals, 6. 3. 2023
23. dr. Urška Trstenjak: Quasi van der Waals growth of HfO_x thin films on graphene for resistive switching applications, 9. 1. 2023

24. dr. Urška Trstenjak: From conventional oxide epitaxy to quasi van der Waals growth using pulsed-laser deposition, 28. 8. 2023
25. Damjan Vengust: Update on research on giant hail, 8. 5. 2023
26. dr. Marija Vukomanović: Piezoelectric Poly-L-lactide Films: from Surface to the Bulk, 15. 5. 2023
27. Jan Žuntar: Influence of deposition parameter change on the properties of Li₄Ti₅O₁₂ thin films grown by pulsed laser deposition, 30. 1. 2023
28. Jan Žuntar: Electrochemical characterization of secondary batteries: methods, challenges and opportunities, 25. 9. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Petruša Borštnar, Nina Daneu, Suraj Gupta: European School on 4D STEM imaging (AdSTEM3), Piran, 15.–17. 5. 2023
2. Petruša Borštnar, Blaž Jaklič: International Workshop on the Characterisation and Quantification of Lithium, from the Micro- to the Nano-Scale, from Mining to Energy, Pariz, Francija, 26.–27. 2023 (2)
3. Petruša Borštnar, Blaž Jaklič, Nina Kuzmič: 15. Študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana (IPSSC23), Mokinje, Kamnik, 31. 5.–2. 6. 2023
4. Petruša Borštnar, Nina Daneu: 20th International Microscopy Congress (IMC20), Busan, Koreja, 10.–15. 9. 2023 (2)
5. Lea Gazvoda: International Meeting on New Challenges from the Perspective of Nanofibrous Materials, Madrid, Španija, 10. 11. 2023 (1)
6. Suraj Gupta: Materials Today Conference 2023, Singapur, Singapur, 2.–5. 8. 2023 (1)
7. Suraj Gupta, Hsin - Chia Ho: 244th ECS Meeting, Gothenburg, Švedska, 8.–12. 2023 (2)
8. Zouhair Hanani, Matjaž Spreitzer: 13th Asian Meeting on Ferroelectricity & Electroceramics (AMF-13 & AMEC-13), Makav, Kitajska, 12.–16. 11. 2023 (2)

9. Zouhair Hanani: International Symposium on Coatings for Energy-ISC4E 2023, Benguerir, Maroko, 27.–29. 11. 2023 (1)
10. Hsin - Chia Ho: International Conference on Photochemistry, Sapporo, Japonska, 23.–28. 2023 (1)
11. Uroš Hribar: 2023 Glass & Optical Materials Division Annual Meeting (GOMD 2023), New Orleans, ZDA, 4.–8. 6. 2023 (1)
12. Jakob König: Foam Glass Gravel Symposium, Amsterdam, Nizozemska, 9.–11. 5. 2023 (1)
13. Nina Kuzmič: 47th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC2023), 22.–27. 1. 2023 (1)
14. Nina Kuzmič: 12th international conference on microwave materials and their applications, Mainz, Nemčija, 25.–28. 9. 2023 (1)
15. Sonja Smiljanić: 5th Metallurgical & Materials Engineering Congress, Trebinje, BIH, 7.–10. 6. 2023 (1)
16. Matjaž Spreitzer: Electronic Materials & Applications (EMA 2023), Orlando, ZDA, 17.–20. 1. 2023 (1)
17. Matjaž Spreitzer: 15th International Symposium on Systems with Fast Ionic Transport- ISSFT15, Dubrovnik, Hrvaška, 18.–22. 4. 2023 (1)
18. Matjaž Spreitzer: Advanced Ceramics and Application Conference ACA XI, Beograd, Srbija, 18.–20. 9. 2023 (1)
19. Matjaž Spreitzer: Materials Science and Technology 2023 Conference, Columbus, ZDA, 1.–4. 10. 2023 (1)
20. Urška Trstenjak: European Materials Research Society Fall Meeting (E-MRS Fall 2023), Varšava, Poljska, 18.–21. 9. 2023 (1)
21. Damjan Vengust: 7th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Srbija, 14.–16. 6. 2023 (1)
22. Marija Vukomanović, Martina Žabčič: Nanosurf DriveAFM Workshops, Zagreb, Hrvaška, 15.–16. 3. 2023 (1)
23. Martina Žabčič: International Meeting on New Challenges from the Perspective of Nanofibrous Materials, Madrid, Španija, 10. 11. 2023 (1)
24. Jan Žuntar: European Materials Research Society Meeting (E-MRS Spring Meeting 2023), Strasbourg, Francija, 29. 5.–2. 6. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Nina Daneu
2. Suraj Gupta, PhD., Indija
3. Heli Maarit Jantunen, PhD., Finska, znanstveni svetnik
4. dr. Jakob König
5. dr. Gertjan Koster, znanstveni svetnik
6. dr. Špela Kunej
7. dr. Marjeta Maček Kržmanc
8. **prof. dr. Matjaž Spreitzer, vodja odseka**
9. prof. dr. Srečo Davor Škapin, znanstveni svetnik
10. dr. Marija Vukomanović

Podoktorski sodelavci

11. Zouhair Hanani, PhD., Maroko
12. *Hsin-Chia Ho, PhD. Kitajska, odšel 16. 11. 2023*
13. dr. Uroš Hribar
14. dr. Mario Kurtjak*
15. *Sonja Smiljanić, PhD., Srbija, odšla 1. 7. 2023*
16. dr. Urška Trstenjak

Mlajši raziskovalci

17. Petruša Borštnar, mag. inž. geol.
18. Lucija Bučar, mag. nan.
19. *Alja Čontala, mag. kem., odšla 9. 1. 2023*
20. Lea Gazvoda, mag. inž. kem. inž.
21. Blaž Jaklič, mag. inž. kem. inž.
22. Nina Kuzmič, mag. inž. kem. inž.
23. Jošt Oblak, mag. inž. kem. inž.
24. Martina Žabčič, Msc., Srbija
25. Jan Žuntar, mag. inž. kem. inž.

Strokovni sodelavci

26. Vesna Butinar, mag. posl. ved
27. David Fabijan, dipl. inž. fiz.
28. Daška Mohar, dipl. ekon. (UN)
29. Damjan Vengust, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

30. Tina Radošević, mag. inž. geol.
31. Silvo Zupancič

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aalborg University, The Faculty of Engineering and Science, Department of Chemistry and Bioscience, Aalborg, Danska
2. Bax & Company, Barcelona, Španija
3. Boise State University, Boise, ZDA
4. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Švedska
5. Christ University, Department of Physics and Electronics, Bengaluru, Indija
6. Forschungszentrum Jülich, Jülich, Nemčija
7. Gamma Meccanica, Bibiano, Italija
8. Institute of Technical Sciences of SASA, Beograd, Srbija
9. Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaška
10. Katholieke Universiteit Leuven, Department of chemistry, Leuven, Belgija
11. Kemijski inštitut, Ljubljana
12. Knauf Insulation, d. o. o., Industrija termičnih izolacij, Škofja Loka
13. Korea Institute of Science and Technology-KIST, Seul, Koreja
14. Korea Institute of Materials Science, KIMS, Changwong, Koreja
15. Kungliga Tekniska Högskolan, Department of Chemical Engineering (Royal Institute of Technology), Stockholm, Švedska
16. Mohammed VI Polytechnic University, Ben Guerir, Maroko
17. Montanuniversität Leoben, Chair of Structural and Functional Ceramics, Leoben, Avstrija
18. National Cheng Kung University, Tainan, Tajvan
19. National Taiwan University, Department of Chemical Engineering, Taipei, Tajvan
20. National Institute of Materials Physics, Bukarešta, Romunija
21. Noveon Magnetics Inc, San Marcos, ZDA
22. Paul Scherrer Institute, Villigen, Švica
23. Polymeris, French Competitiveness Cluster for Rubbers, Plastics and Composites, Lyon, Francija
24. Stiftelsen SINTEF, Trondheim, Norveška
25. TAB Tovarna akumulatorskih baterij, d. d., Mežica
26. Technische Universität Wien, Dunaj, Avstrija
27. University of Oulu, Microelectronics research unit, Oulu, Finska
28. University of Rijeka, Faculty of Medicine, Reka, Hrvaška
29. University of Twente, Enschede, Nizozemska
30. Université de Liège, Liège, Belgija
31. Université de Limoges, Limoges, Francija
32. University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Hrvaška
33. Zhejiang University, Hangzhou, Kitajska

ODSEK ZA BIOKEMIJO, MOLEKULARNO IN STRUKTURNO BIOLOGIJO

B-1

Raziskovalna dejavnost znotraj Odseka za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B1) se osredotoča predvsem na proučevanje fizioloških funkcij proteaz in njihovih naravnih proteinskih inhibitorjev tako v normalnih kot v bolezenskih stanjih. Te študije obsegajo mehanizme delovanja proteaz ter strukturne in funkcionalne značilnosti proteaz, njihovih inhibitorjev in drugih encimov. Molekularnih mehanizmov, ki nadzorujejo delovanje in regulacijo proteaz, še ne razumemo v celoti, kar kaže na to, da je potrebnih še veliko raziskav, zlasti pri identifikaciji dodatnih fizioloških substratov in signalnih poti, na katere vplivajo.

Raziskave proteaz so se v zadnjem desetletju precej razširile, predvsem zaradi hitrega napredka pri tehnologijah, kot so kvantitativna proteomika, slikanje *in vivo* ter obsežna uporaba živalskih modelov. Ta razvoj je olajšal odkrivanje fizioloških substratov in spodbudil premik pri razumevanju proteaz, ki jih ne vidimo več le kot encime, ki razgrajujejo proteine, ampak tudi kot ključne signalne molekule. Njihove encimske aktivnosti so natančno nadzorovane, predvsem preko aktivacije zimogenov in regulacije z endogenimi proteinskimi inhibitorji. Vsakršna motnja v teh regulativnih mehanizmihi lahko privede do različnih boleznih, vključno z nalezljivimi, avtoimunskimi, kardiovaskularnimi, nevrološkimi in nevrodegenerativnimi boleznimi ter rakom. Posledično proteaze zdaj obravnavamo kot ključne tarče za terapevtske posege.

Raziskovalci našega oddelka so proučevali specifičnost cisteinskih katepsinov, ki za razliko od kaspaz in tripsinu podobnih proteaz nimajo strogo določenega P1 žepa. S proteomsko analizo so identificirali 30.000 cepitvenih mest za humane katepsine K, V, B, L, S in F ter jih analizirali s platformo SAPS-ESI, ki združuje podatke in uporablja modele strojnega učenja. Eksperimentalno so potrdili napovedi cepitvenih mest na proteinu S virusa SARS-CoV-2, kar nakazuje, da se katepsini obnašajo podobno kot furin. Kristalna struktura katepsina V v kompleksu s peptidi je razkrila toge in prilagodljive regije, ki se ujemajo s podatki SAPS-ESI. Ti rezultati podpirajo razvoj selektivnih zdravilnih konjugatov in odkrivanje novih zdravil (Tušar *et al.*, 2023).

V obsežnem sodelovanju so raziskovalci našega oddelka potrdili, da je kalpeptin zelo učinkovit inhibitor cisteinskih katepsinov, kar podpirajo rezultati rentgenske kristalografije. Testi okužbe celic so pokazali njegovo učinkovitost proti SARS-CoV-2, zdravljenje s kalpeptinom pri okuženih zlatih sirskih hrčkih pa je znatno zmanjšalo virusno obremenitev v sapniku. Čeprav obstajajo tveganja za stranske učinke, ciljanje gostiteljskih beljakovin, kot so katepsini, ponuja prednost zaradi njihove genetske stabilnosti v primerjavi s hitro mutirajočimi se virusnimi beljakovinami. To nakazuje, da bi lahko bilo zaviranje katepsinov s kalpeptinom izvedljiva strategija za zdravljenje SARS-CoV-2 in morda drugih virusnih okužb (Reinke *et al.*, 2023).

V drugi raziskavi je naš oddelek sodeloval pri raziskavah encima fotoliaz, ki uporablja svetlobo za katalizo popravila DNK, prek eksperimenta s časovno razrešeno kristalografijo. Ugotovitve so pokazale, da fotoliza zajame aktivni kofaktor, flavin adenin dinukleotid (FAD), v vzbujenem stanju z opazno ukrivljeno geometrijo. To stanje omogoča prenos elektronov na poškodovano DNK, kar sproži popravilo. Odkrili so, da proces popravila, ki vključuje prekinitev dveh kovalentnih vezi, poteka prek vmesnega stanja ene vezi. Ko se substrat pretvori v produkt, zasede aktivno mesto in moti vodikove vezi znotraj encima. To vodi do zaporednega sproščanja popravljenega produkta, pri čemer se najprej sprostí timin 3', nato pa baza 5' (Christou *et al.*, 2023).

V nadaljevanju raziskav o vlogi stefina B, inhibitorja cisteinskih proteaz, v boleznih so Kopitar in sodelavci odkrili, da miši z dodatno kopijo gena za stefin B kažejo zmanjšano vnetje in encimsko aktivnost, povezano z manjšim celičnim stresom v makrofagih. To dodatno izražanje je tudi izboljšalo celične čistilne procese in zmanjšalo mitohondrijski stres. Njihove ugotovitve povečujejo razumevanje vloge stefina B pri regulaciji celic, kar bi lahko bilo ključnega pomena pri razvoju novih zdravil (Trstenjak-Prebenda *et al.*, 2023).

Po našem prejšnjem delu na področju oblikovanja tarčnih sistemov so se raziskovalci našega odseka osredotočili na aspartatno proteazo katepsin D. Ta je izrazito prekomerno izražena pri številnih rakah in igra ključno vlogo pri razvoju, napredovanju in metastazah tumorjev. Čeprav je običajno znotrajceličen protein, se katepsin D izloča v zunajcelični matriks pri patoloških pogojih, kar poudarja njegov potencial kot tarčo za sisteme dostave zdravil. V tem kontekstu je naš odsek razvil in ovrednotil nov sistem dostave, namenjen ciljanju tumorjev, ki uporablja imunoliposome, funkcionalizirane s pepstatinom A – naravnim peptidnim inhibitorjem katepsina D. Za vključitev v lipidni dvosloj liposoma so pepstatinu A dodali lipidni rep. Učinkovitost tega tarčnega sistema je bila potrjena



Vodja:

prof. dr. Boris Turk

z uporabo rekombinantnega katepsina D in v celičnih linijah tumorjev, kar dokazuje delovanje tega pristopa in njegovo morebitno uporabnost za in vivo teranostične aplikacije (Kozak *et al.*, 2023).

V drugi študiji so Mikhaylov in sodelavci razvili bioluminiscenčno sondo, imenovano BiNR, za neinvazivno sledenje vnosu nikotinamid ribozida (NR), oblike vitamina B3, z možnim potencialom za zdravljenje metaboličnih in starostnih motenj. Prav tako so izpopolnili preskus za vnos NR, ki ne zahteva genske transdukcije, zaradi česar je uporaben za človeške klinične vzorce, kot so T-celice. Z uporabo te sonde v modelu trojno negativnega raka dojke so odkrili, da NR znatno poveča pojavnost raka in možganske metastaze, kar poudarja potrebo po previdni uporabi NR pri bolnikih z rakom (Maric *et al.*, 2023).

Žerovnik je v sodelovanju z drugimi raziskovalci nadaljevala preiskovanje proteaznega inhibitorja stefina B in njegovega tvorjenja amiloidnih fibril. Odkrili so, da te fibrile kažejo dvolomnost brez potrebe po barvanju – lastnost, ki je običajno vidna šele po nanosu specifičnih barvil. Prav tako so opazili, da se te fibrile naravno razporejajo v vzorce, podobne drugim anizotropnim materialom, kot so beljakovinski kristali in tekoči kristali. Poleg tega so zaznali nenavadno fluorescenčno emisijo pri 425 do 430 nm v nekaterih ureditvah fibril, kar kaže na možnost za odkrivanje amiloidov brez oznak preko optične mikroskopije. Te ugotovitve bi lahko privedle do novih, neinvazivnih metod za identifikacijo amiloidnih fibrilov v različnih pogojih (Novak *et al.*, 2023). V drugi študiji so Žerovnik in sodelavci uporabili stefin B kot modelno beljakovino za študij zlaganja beljakovin in so ga analizirali z uporabo infrardeče spektroskopije za spremljanje njegove agregacije in tvorbe amiloidov. Študija se je osredotočila na nizkofrekvenčni del pasu Amide I, kar kaže, da so strukturne spremembe v stefinu B vplivane bolj od temperature kot pH. Rezultati so pokazali, da je stefin B manj stabilen v kisljih okoljih in bolj stabilen v nevtralnih ali baznih. Analiza, ki je vključevala multivariatno ločevanje krivulj (MCR), je izpostavila zgodnje strukturne spremembe in različna stanja konformacije beljakovin. To je privedlo do predloga novega modela za agregacijo stefina B, ki temelji na teh ugotovitvah (Zganec *et al.*, 2023).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Patrick Y. A. Reinke, Jure Loboda, Katarina Karničar, Aleksandra Usenik, Nataša Lindič, Andreja Sekirnik, Dušan Turk, *et al.*, Calpeptin is a potent cathepsin inhibitor and drug candidate for SARS-CoV-2 infections, *Communications biology*, 2023, 6, 1058-1-1058-13, DOI: 10.1038/s42003-023-05317-9
2. Livija Tušar, Jure Loboda, Robert Vidmar, Matej Vizovišek, Marko Mihelič, Marko Fonovič, Jaka Horvat, Gregor Kosec, Boris Turk, Dušan Turk, *et al.*, Proteomic data and structure analysis combined reveal interplay of structural rigidity and flexibility on selectivity of cysteine cathepsins, *Communications biology*, 2023, 6, 450-1-450-15, DOI: 10.1038/s42003-023-04772-8
3. Nina-Eleni Christou, Virginia Apostolopoulou, Diogo V. M. Melo, Matthias Ruppert, Alisia Fadini, Alessandra Henkel, Janina Sprenger, Ajda Kunavar, Saša Bajt, Dušan Turk, *et al.*, Time-resolved crystallography captures light-driven DNA repair, *Science*, 2023, 382, 6674, 1015-1020, DOI: 10.1126/science.adj4270
4. Mojca Trstenjak-Prebenda, Monika Biasizzo, Klemen Dolinar, Sergej Pirkmajer, Boris Turk, Véronique Brault, Yann Hérault, Nataša Kopitar-Jerala, Stefin B inhibits NLRP3 inflammasome activation via AMPK/mTOR signalling, *Cells*, 2023, 12, 23, 2731-1-2731-16, DOI: 10.3390/cells12232731
5. Andreja Kozak, Georgy Mikhaylov, Pavlo Khodakivskyi, Elena Goun, Boris Turk, Olga Vasiljeva, A new cathepsin D targeting drug delivery system based on Immunoliposomes functionalized with lipidated pepstatin A, *Pharmaceutics*, 2023, 15, 10, 2464-1-2464-11, DOI: 10.3390/pharmaceutics15102464

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. 40th Winter School on proteinases and their inhibitors, Tiers, Italija, 1.–5. 3. 2023, soorganizatorji

MEDNARODNA PROJEKTA

1. Razvoj in vitro biotestov za oceno učinka katepsinskih inhibitorjev na okužbo s SARS-CoV-2 Infection
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Dušan Turk
2. COST CA20117; Mye-InfoBank - Sprememba molekularnih profilov mieloidnih celic v biomarkerje za vnetja in raka
COST Association AISBL
prof. dr. Nataša Kopitar - Jerala

PROGRAMA

1. Strukturna biologija
prof. dr. Dušan Turk
2. Proteoliza in njena regulacija pri zdravju in boleznih
prof. dr. Boris Turk

PROJEKTI

1. Katepsina B in X v tumorskih matičnih celicah raka dojke – molekulske tarče in pomen za protitumorno terapijo
prof. dr. Marko Fonović
2. Aptamere in hidrodinamska kavitacija, dostopno orodje za analizo organskih ostankov v arheološki keramiki
prof. dr. Marko Fonović
3. Človeški katepsin F: nenavadna cisteinska proteaza udeležena v nevrogenaciji
prof. dr. Veronika Stoka
4. Identifikacija aktivoma raka za razvoj nove generacije konjugatov protiteles z zdravili
prof. dr. Boris Turk
5. Sistemska določitev fizioloških vlog legumaina
prof. dr. Marko Fonović
6. Eritrocitne membrane kot nano-nosilci za gensko terapijo za zdravljenje raka
prof. dr. Boris Turk

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

Na odseku imamo redne tedenske seminarje, na katerih raziskovalci poročajo o svojem delu.

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Boris Turk, Robert Vidmar, Matej Kolarič, Sara Ivanovski, Klemen Dretnik, 40th Winter School on proteinases and their inhibitors, Tiers, Italija, 1.–5. 3. 2023
2. Nataša Kopitar Jerala, MC COST Action: CA20117 – Converting molecular profiles of myeloid cells into biomarkers for inflammation and cancer, Belek, Turčija, 23.–26. 3. 2023
3. Veronika Stoka, EACR-OECI Molecular Pathology Approach to Cancer, Bergamo, Italija, 27.–31. 3. 2023
4. Veronika Stoka, Training on strategies to foster solutions of undiagnosed rare disease cases, Rim, Italija, 2.–7. 4. 2023
5. Matej Novak, Hot Topics in Contemporary Crystallography 5, Croatian Association of Crystallographers, Dubrovnik, Hrvaška, 15.–24. 4. 2023
6. Veronika Stoka, Spatial Biology UK 2023, London, Velika Britanija, 24.–27. 4. 2023
7. Matej Kolarič, ESSAI & ACAI 2023 Summer School, Ljubljana, 24.–28. 7. 2023
8. Miki Zarič, MOSBRI ESC5, Praga, Češka republika, 2.–9. 5. 2023
9. Ana Ercegovič Rot, COST CA20117 – Converting molecular profiles of myeloid cells into biomarkers for inflammation and cancer, Badalona, Španija, 21.–26. 5. 2023
10. Veronika Stoka, EJP RD – ERN Workshop: Genetics and Precision Medicine in Rare Diseases, Lizbona, Portugalska, 18.–20. 5. 2023
11. Robert Vidmar, 71st ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Houston, ZDA, 1.–9. 6. 2023
12. Boris Turk, FEBS Network Working Group meeting, Cambridge, Velika Britanija, 6.–8. 6. 2023
13. Boris Turk, EMBO Fellowship Committee Meeting, Heidelberg, Nemčija, 14.–15. 6. 2023
14. Eva Žerovnik, Meeting of the German Association for Aging Research, Jena, Nemčija, 28. 6.–1. 7. 2023
15. Ana Ercegovič Rot, Tea Sinožič, Ernestina Lavrih, Scientific symposium with international participation on the occasion of the 50th anniversary of the Institute of Biochemistry, Ljubljana, 6. 7. 2023

16. Dušan Turk, 26th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Melbourne, Avstralija, 20.–31. 8. 2023
17. Veronika Stoka, Trafficking Pathways in Neurodegeneration conference, Cambridge, Velika Britanija, 6.–8. 9. 2023
18. Boris Turk, Dušan Turk, Ana Kump, Andreja Sekirnik, Aleksandra Usenik, Monika Biasizzo, Klemen Dretnik, Katarina Karničar, Livija Tušar, Marinka Horvat, Matej Novak, Nataša Kopitar Jerala, Nataša Lindič, Ana Ercegovič Rot, Tea Sinožič, Sara Ivanovski, Andreja Kozak, Metka Stantič, Miki Zarič, Tilen Sever, Jure Loboda, Matej Kolarič, Ernestina Lavrih, Andreja Novak, 15th Meeting of the Slovenian Biochemical Society, Portorož, 20.–23. 9. 2023
19. Veronika Stoka, International Summer School on RD Registries and FAIRification of Data, Rim, Italija, 24.–30. 9. 2023
20. Eva Žerovnik, SiNAPSA Neuroscience Conference 2023, Ljubljana, 28.–30. 9. 2023
21. Nataša Kopitar Jerala, Cytokines 2023, Atene, Grčija, 14.–19. 10. 2023
22. Boris Turk, Nataša Kopitar Jerala, Mitochondria in Aging, Cancer and Cell Death, Coimbra, Portugalska, 29. 11.–3. 12. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

23. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 9.–30. 3. 2023 (meritve)
24. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 18. 5.–3. 6. 2023 (meritve)
25. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 31. 5. 2023 (meritve)
26. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 19. 6. 2023 (meritve)
27. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 19. 7. 2023 (meritve)
28. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 2.–20. 10. 2023 (meritve)
29. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 30. 10. 2023 (meritve)
30. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 15. 11. 2023 (meritve)
31. Dušan Turk: Memphis, San Francisco, Philadelphia, ZDA, 17. 11.–8. 12. 2023 (sodelovanje na projektih, predavanje na University of California San Francisco)
32. Nataša Lindič: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 14. 12. 2023 (meritve)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Iztok Dolenc
2. prof. dr. Marko Fonović
3. prof. dr. Nataša Kopitar - Jerala
4. prof. dr. Jure Pražnikar*
5. prof. dr. Veronika Stoka
6. dr. Andrej Sali, znanstveni svetnik
7. **prof. dr. Boris Turk, znanstveni svetnik**
8. prof. dr. Dušan Turk, znanstveni svetnik - vodja centra
9. doc. dr. Livija Tušar
10. prof. dr. Olga Vasiljeva
11. prof. dr. Eva Žerovnik, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

12. dr. Monika Biasizzo, odšla 12. 11. 2023
13. dr. Katarina Karničar

14. dr. Andreja Kozak
15. dr. Nataša Lindič
16. dr. Jure Loboda, odšel 1. 10. 2023
17. dr. Georgy Mikhaylov
18. Andreja Novak, MSc, Nizozemska
19. dr. Metka Stantič
20. dr. Aleksandra Usenik
21. doc. dr. Robert Vidmar

Mlajši raziskovalci

22. Bor Bokali, mag. biotehnol.
23. Klemen Dretnik, mag. biotehnol.
24. Ana Ercegovič Rot, mag. lab. biomed.
25. Marija Grozdanič, master fizik. kemije, R Srbija, odšla 1. 7. 2023
26. Matija Hrovatin, mag. biotehnol.
27. Sara Ivanovski, mag. biokem.
28. Matej Kolarič, mag. biokem.
29. Ana Kump, dipl. farmacevt, R. Makedonija
30. Ernestina Lavrih, mag. biokem.

31. Petra Matjan Štefin, dr. vet. med.
32. Matej Novak, mag. farm.
33. Tilen Sever, mag. mol. funkc. biol.
34. Tea Sinožič, Msc., Hrvaška
35. Mojca Trstenjak Prebenda, univ. dipl. kem.
36. Eva Vidak, mag. biokem.
37. Miki Zarič, mag. mol. funkc. biol.

Strokovni sodelavci

38. Marinka Horvat, univ. dipl. bioteh.
39. Helena Kastelic, univ. dipl. ekon.
40. Maja Orehek, univ. dipl. etn. in antr. kult.
41. Andreja Sekirnik, univ. dipl. kem.
42. Ivica Štefe, univ. dipl. kem.

Tehniški in administrativni sodelavci

43. Dejan Pelko
44. Polonca Pirš
45. Vahida Suljić

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Albert-Ludwigs-Universität, Institut für Molekulare Medizin und Zellforschung, Freiburg, Nemčija
2. Centro de Investigación Principe Felipe, Valencia, Španija
3. Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Nemčija
4. Freie Universität Berlin, Nemčija
5. Ghent University, Department for Molecular Biomedical Research, Gent, Belgija
6. Instituto de Investigaciones Biotechnológicas, Universidad Nacional de General San Martín, Argentina
7. Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvaška
8. International University of Bremen, Bremen, Nemčija
9. Karl-Franzens Universität, Gradec, Avstrija
10. King's College, London, Velika Britanija
11. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
12. Liaoning Cancer Hospital & Institute, Kitajska
13. University of Zurich, Zürich, Švica
14. Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Valles, Španija
15. University of Lund, Lund, Švedska
16. Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska
17. Jagiellonian University, Kraków, Poljska

ODSEK ZA MOLEKULARNE IN BIOMEDICINSKE ZNANOSTI

B-2

Raziskovalni program Odseka za molekularne in biomedicinske znanosti je usmerjen predvsem v temeljne raziskave na področju proteinske biokemije, molekularne in celične biologije ter genetike. Osnovni namen naših raziskav je pridobivanje novih spoznanj na področju človeške in živalske patofiziologije v korist izboljšanja zdravja ljudi in živali.

Toksinologija

Ena od naših tradicionalnih raziskovalnih tem na področju toksinologije je proučevanje molekularnih mehanizmov toksičnega delovanja sekretornih fosfolipaz A₂ (sPLA₂), ki so v živalskih strupih. Še posebej smo osredotočeni na tiste, ki so presinaptično nevrotoksične (β-nevrotoksini). Znanje, ki ga pridobimo s proučevanjem toksičnih sPLA₂, nam pomaga bolje razumeti patofiziološko vlogo ortolognih sesalskih sPLA₂ ter razviti nove in učinkovitejša terapevtske načine zdravljenja zastrupitve.

Molekulski mehanizem delovanja amoditoksina A (AtxA) in močne β-nevrotoksične sPLA₂ iz strupa modrasa (*Vipera a. ammodytes*; Vaa) smo večinoma že opisali. Eno od vprašanj, ki še potrebuje nekaj razlage, je vloga fosfolipazne aktivnosti pri β-nevrotoksičnosti. V ta namen smo pripravili encimsko neaktivno mutanto AtxA, AtxA(D49S). V sodelovanju z raziskovalno skupino, ki jo vodi profesor R. Frangež z Veterinarske fakultete Univerze v Ljubljani (VF/UL), smo v letu 2023 zaključili primerjalno elektrofiziološko karakterizacijo AtxA in njegove encimsko neaktivne mutante. Dokazali smo, da učinkov AtxA neodvisno od encimske aktivnosti ni mogoče raziskati s klasičnimi elektrofiziološkimi meritvami na izoliranem živčno-mišičnem preparatu. Naši rezultati so tudi pokazali, da inhibicija aktivnosti citokrom c-oksidade z AtxA ni vključena v hitro živčno-mišično blokado s tem β-nevrotoksinom, ampak da so njegove patološke posledice bolj dolgoročne (M. C. Žužek *et al.*, *Toxicon*, poslano v objavo).

AtxA je bil uporabljen kot orodje za proučevanje mehanizma regeneracije živčnega končiča po travmi. V okviru konzorcija, ki ga vodi profesor C. Montecucco z Oddelka za biomedicinske znanosti Univerze v Padovi in Inštituta za nevroznanost Nacionalnega raziskovalnega sveta iz Padove v Italiji, smo objavili znanstveni članek o delovanju agonista z G-proteinom sklopljenega kemokinskega receptorja CXCR4. Ugotovili smo, da nizkomolekulski agonist CXCR4, imenovan NUCC-390, inducira hitro regeneracijo končičev motoričnega aksona s funkcionalno obnovo živčno-mišičnega stika. Pridobljeni rezultati tako prepoznavajo NUCC-390 kot novo obetavno terapevtsko sredstvo za izboljšanje okrevanja po paralizi, do katere lahko pride po ugrizu viperidnih kač z nevrotoksičnimi sPLA₂ (M. Stazi *et al.*, *Journal of Neurochemistry* (2023), doi: 10.1111/jnc.15803).

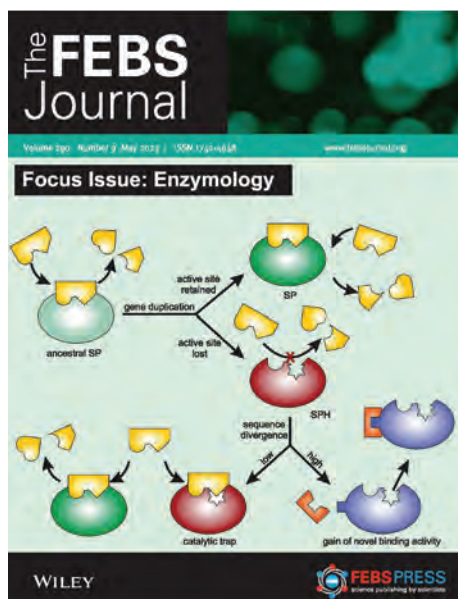
Pokazali so, da se nekatere sPLA₂ specifično vežejo na nikotinske acetilholinske receptorje (nAChR). Vezava ACh ali drugih agonistov, npr. nikotina in njegovih derivatov, na nAChR-je je povezana z nenadzorovano delitvijo celic, preprečitvijo apoptoze in indukcijo angiogeneze, kar posledično podpira rast in metastaziranje tumorjev. Po drugi strani imajo antagonisti nAChR-jev ravno nasprotno učinke na celice, kar kaže na njihovo potencialno vrednost pri zdravljenju raka. Med naravnimi antagonisti nAChR, ki jih najdemo v različnih strupih, so tudi sPLA₂ kačjega strupa, za katere so potrdili, da zavirajo ionske tokove, ki jih izzove ACh. Iz tega razloga smo raziskali protirakav vpliv niza človeških sPLA₂ in njihovih točkovnih encimsko neaktivnih mutant, da bi ocenili njihov terapevtski potencial v primeru pljučnega raka. V sodelovanju s farmakologi z Univerze v Leuvnu v Belgiji smo določali učinek teh proteinov na α7- in mišični tip nAChR. Najbolj zanimiv je bil rezultat, da se GV(H48Q) absolutno selektivno veže na α7-nAChR. Encimsko neaktivno mutanto GV(H48Q) smo nato testirali, da bi ovrednotili njene učinke na sposobnost preživetja, citotoksičnost, proliferacijo in apoptozo več različnih celičnih linij pljučnega raka in ene celične linije nerakastih pljučnih celic. Pokazali smo, da sta tako GV kot GV(H48Q) sposobni preprečiti z ACh izzvano proliferacijo in povečano preživetje celic. Vzoredno smo bili vključeni v podobno študijo antagonistov α7-nAChR, tj. 3-alkilpiridijevih soli (APS). Članek, ki opisuje učinke APS7 in APS8, bodisi prostih ali pakiranih v nanodelcih želatine, na celice človeškega pljučnega raka, je v reviziji (A. Joukhan *et al.*, *Marine Drugs*, poslano v objavo). Drugi članek na to temo je bil poslan v objavo (V. Kononenko, *Journal of Controlled Release*, poslano v objavo). Pripravili smo še pregledni članek o vlogi nAChR pri raku, ki je sprejet v tisk (T. Bele *et al.*, *BBA – Molecular Basis of Disease*, sprejeto v tisk).

V letu 2023 smo nadaljevali študijo proteinov iz kačjih strupov, ki vplivajo na proces koagulacije krvi – hemostazo. V okviru raziskovalnega projekta J1-2475, ki ga je financirala Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARRS), smo raziskovali edinstven antikoagulantni homolog serinske proteaze iz



Vodja:

prof. dr. Igor Križaj



Slika 1: Naslovnica revije FEBS Journal, ki prikazuje naš članek o razvoju novih bioloških funkcij pri serinskih psevdoproteazah. Naslovnica je iz FEBS J. 2023, 290(9).

modrasovega (*Vipera a. ammodytes*, Vaa) strupa, VaaSPH-1, v smeri priprave popolnoma novih in varnih zdravil z antikoagulantnim delovanjem. Iskali smo najboljše možne pogoje za izražanje VaaSPH-1 in njegovega vezavnega proteina, faktorja koagulacije krvi VIIIa (FVIIIa), v sesalski celični liniji HEK293-F. Vzoredno smo načrtovali nizkomolekulske antagoniste faktorja IX (FIX), pri čemer smo našli obetaven kandidatni peptid za testiranje njegovega delovanja *in vitro*. O tej temi smo pripravili vabljeni pregledni članek o serinskih psevdoproteazah (N. Zupanič *et al.*, FEBS Journal (2023), 2263–2278), v katerem smo poudarjeno razpravljali o predhodno spregledani možnosti neencimskega delovanja teh SP-molekul. Naš prispevek je bil prikazan na naslovnici omenjene revije (slika 1).

Po naši objavi podrobnega opisa delovanja serinske proteaze VaaSP-VX, ki pospešuje strjevanje krvi z aktiviranjem tako FV kot FX, smo izolirali iz modrasovega strupa še strukturno zelo podobno molekulo VaaSP-6. Ker je znano celotno cDNA-zaporedje VaaSP-6, bomo ta protein pripravili v rekombinantni obliki, da ga bomo bolje proučili. Upamo, da bo rekombinantni VaaSP-6 pokazal podobno prokoagulantno aktivnost kot VaaSP-VX in bi lahko nadomestil dokaj nezanesljivi razredčeni strup Russillovega gada (dRVV), ki se zdaj uporablja na klinikah za določanje lupusnih antikoagulantov (test LA).

Lani smo tudi eksperimentalno zaključili naš ARIS-ov raziskovalni projekt J3-2534. V okviru tega smo skupaj s kolegi s Centra za klinično toksikologijo in farmakologijo Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana (UKCL) raziskali zanimiv klinični učinek, ki so ga opazili pri bolnikih po zastrupitvi z modrasovim strupom, in sicer globoko, prehodno in reverzibilno trombocitopenijo funkcionalnih trombocitov. Pri trombemboličnih boleznih, kot sta miokardni infarkt in ishemična možganska kap, imajo trombociti osrednjo vlogo. Obstoječa protitrombocitna zdravila imajo en skupni stranski učinek – zmanjšano število trombocitov, katerih delovanje je zavrto. Takšno stanje pomeni veliko tveganje celo za smrtno nevarno krvavitev (hemoragijo), zlasti v interventni kardiologiji in angiologiji, ki uporabljata antitrombotični pristop. Naši rezultati bi lahko odprli pot razvoju nove skupine protitrombocitnih učinkovin, ki bi zmanjšale tveganje za nevarne krvavitve v interventni kardiologiji in angiologiji ter povečale učinkovitost vazodilatacije in odstranitve strdka. Kot smo pokazali, lahko reverzibilno trombocitopenijo pri bolnikih, zastrupljenih z modrasovim strupom, povzročajo kačji proteini, podobni lektinom tipa C (imenovani tudi snacleci, izg. snekleki). V preteklem letu smo izolirali več snaclecev iz modrasovega strupa

in pokazali, da je zlasti snaclec 3/2 močan induktor trombocitopenije, ker se veže na trombocitni receptor GPIb. V sodelovanju s partnerji z VF/UL smo začeli z *in vivo* študijo na mišjem modelu arterijske tromboze, da bi ugotovili, kakšen je potencial snacleca 3/2 za preprečevanje nastajanja krvnih strdkov in arterijske okluzije po eksperimentalno povzročeni žilni poškodbi, ter ocenili, kakšna je možnost za njegovo medicinsko uporabo. Prvi del rezultatov smo že objavili (M. Dobaja Borak *et al.*, *Thrombosis Research* 229 (2023), 152–154). V okviru te teme sta v pisanju še dva raziskovalna članka (M. Dobaja Borak *et al.*, *Thrombosis Research*, poslano v objavo; M. C. Žužek *et al.*, v pripravi) in en pregledni članek (K. Požek *et al.*, v pripravi).

V okviru raziskovalne mreže s strokovnjaki z UKCL, Univerzitetne bolnišnice in Univerze v Splitu, Univerze v Zagrebu (UZ) ter iz naše skupine smo analizirali vzorce krvi bolnikov, ki so bili zastrupljeni z modrasovim strupom in so jih zdravili z različnimi protistrupi. Priprava publikacije še poteka (T. Kurtović *et al.*, v pripravi).

Tudi v letu 2023 so bili naši znanstveni dosežki na področju toksinologije zelo prepoznavni. Dr. Križaj je bil povabljen kot predavatelj na letno srečanje Société Française pour l'Etude des Toxines (SFET), ki je potekalo od 30. novembra do 1. decembra v Parizu. Povabljen je bil tudi kot gostujoči urednik pri dveh uveljavljenih revijah, *Toxins* (I. Križaj, *Toxins* 15 (2023), 212) in *International Journal of Molecular Sciences* (P. Veranič in I. Križaj, *International Journal of Molecular Sciences* 24 (2023), 13667). Najpomembnejše priznanje za izjemno raziskovalno delo I. Križaja in njegove ekipe pa je bila Zoisova nagrada, najvišja znanstvena nagrada v Sloveniji (slika 2).

Živalski strupi so bogat vir novih učinkovin in molekularnih orodij za izboljšanje zdravja ljudi in živali.

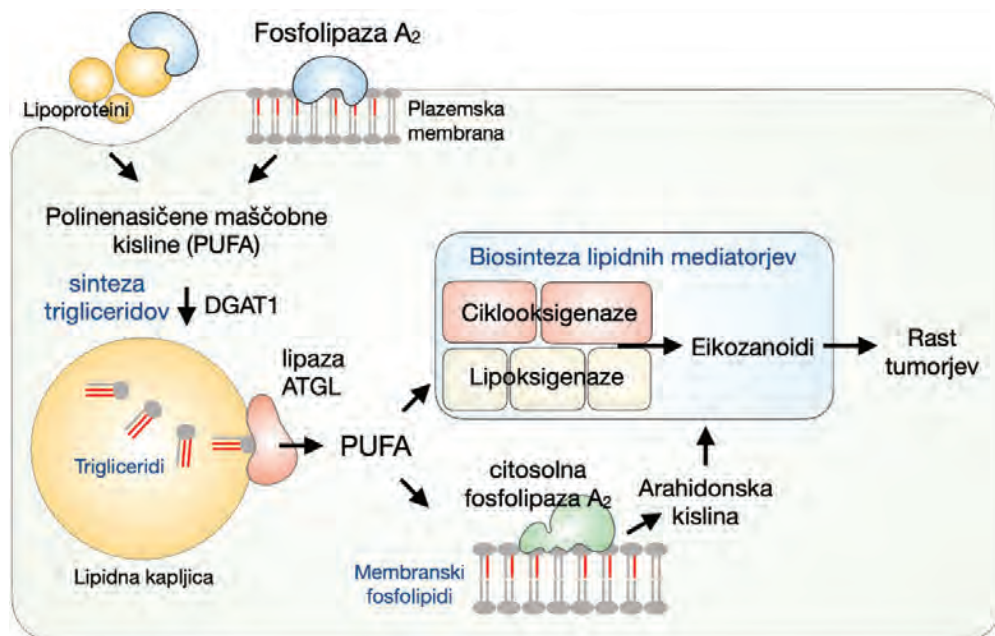


Slika 2: Dr. I. Križaj prejema Zoisovo nagrado. Na slovesnosti v Cankarjevem domu 28. novembra 2023 je dr. Križaj prejel Zoisovo nagrado, najvišje državno priznanje za znanost. Levo od dr. Križaja je dr. Nataša Vaupotič, predsednica odbora za Zoisove nagrade. Na desni strani je minister za visoko šolstvo, znanost in inovacije dr. Igor Papič. Utemeljitev odlikovanja dr. Križaja je dostopna na spletni strani: <https://www.gov.si/novice/2023-11-28-podeljene-najvisje-dravne-nagrade-v-znanstvenoraziskovalni-in-razvojni-dejavnosti/>.

Lipidni metabolizem in signalizacija

Lipidi so osnovnega pomena za življenje. Sestavljajo membrane vseh celic in organelov ter predstavljajo najučinkovitejšo obliko shranjevanja energije. Vendar pa je vloga lipidov in njihovega metabolizma pri zdravju in boleznih še vedno slabo opredeljena, predvsem zaradi njihove strukturne in funkcionalne raznolikosti ter kompleksnosti oblik. Lipidne kapljice so od nedavnega prepoznani organeli, ki nam lahko pomagajo razumeti mehanizme, na katerih temelji delovanje lipidov na celični ravni in v različnih patofizioloških stanjih, povezanih z moteno regulacijo presnove lipidov. Ti dinamični organeli za shranjevanje maščob so vključeni v poglobitve celične procese, od proizvodnje energije in membranske homeostaze do okužbe in vnetja. Naše delo na tem področju je bilo osredotočeno na odgovore na naslednja vprašanja: (1) Ali so lipidne kapljice vključene v generiranje lipidnih signalnih molekul, vključenih v medcelično komunikacijo?, (2) Kakšna je vloga lipidnih kapljic pri celičnem prometu z lipidi ter uravnavanju celovitosti in delovanja membrane? in (3) Kako avtofagija sodeluje z mehanizmi razgradnje lipidnih kapljic med hranilnim stresom?

V našem nedavnem članku (E. Jarc Jovičič *et al.*, *Molecular Metabolism* 76 (2023), 101791) smo opisali nov mehanizem prometa z maščobnimi kislinami med membranskimi fosfolipidi in trigliceridi, shranjenimi v lipidnih kapljicah, kar je kritično za nastajanje močnih lipidnih mediatorjev, ki spodbujajo rast tumorja in vnetje. Pokazali smo, da so nekatere vrste maščobnih kislin obogatene z lipidnimi kapljicami rakavih celic, in odkrili molekularni mehanizem njihovega sproščanja iz lipidnih kapljic (slika 3). Ta raziskava odkriva do zdaj neprepoznano osrednjo vlogo lipidnih kapljic pri presnovi in signalizaciji maščobnih kislin ter občutno širi trenutno membransko usmerjeno paradigmo proizvodnje lipidnih mediatorjev.

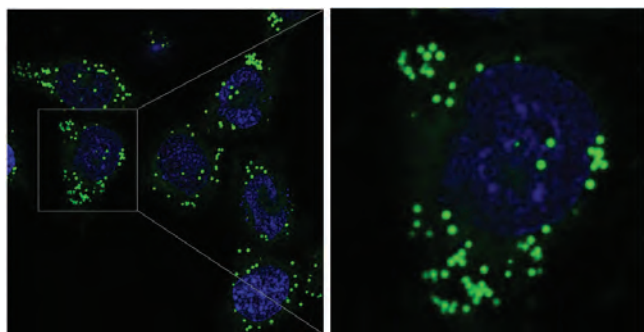


Slika 3: Mehanizem z lipidnimi kapljicami nadzorovane tvorbe lipidnih signalov, ki spodbujajo rast tumorja. Naša študija kaže, da lipidne kapljice nadzorujejo dostavo polinenasičenih maščobnih kislin ω -3 in ω -6 (PUFA) za proizvodnjo lipidnih mediatorjev, ki posledično spodbujajo proliferacijo rakavih celic. Esterifikacija PUFA v triacilglicerole (TAG) in njihovo sproščanje iz lipidnih kapljic sta potrebna za vstop PUFA v proizvodne poti lipidnih mediatorjev (E. Jarc Jovičič *et al.*, *Mol. Metab.* 76 (2023), 101791).

V vabljenem preglednem članku (M. Danielli *et al.*, *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 11 (2023), 1104725), objavljenem v posebni številki z naslovom *The evolving role of lipid droplets: Advancements and future directions*, smo izpostavili koncept lipidnih kapljic, ki imajo različne, od konteksta odvisne in pogosto protislovne vloge, ki segajo od proizvodnje lipidnih signalnih molekul do nadzora peroksidacije membranskih lipidov in celične smrti, vključno s ferroptozo. Raziskali smo, kako lahko ti razvijajoči se koncepti v biologiji lipidnih kapljic izboljšajo naše razumevanje prilagodljivosti in odpornosti celic na stres ter kako jih je mogoče izkoristiti v boju proti raku.

Naš članek o avtofagiji in lipidnih kapljicah poudarja kompleksno medsebojno delovanje med avtofagijo/lipofagijo in lipidnimi kapljicami pri regulaciji celične homeostaze in prilagajanju na stres (M. Jusović *et al.*, *Cancers* 15 (2023), 4857). Te ugotovitve kažejo na sodelovanje med avtofagijo in metabolizmom lipidnih kapljic pri zaščiti rakavih celic pred stradanjem (slika 4). Z uporabo strategije kombiniranega ciljanja na avtofagijo in biogenezo lipidnih

Lipidne kapljice orkestrirajo ključne metabolične in signalne procese, ki nadzorujejo ravnovesje med celičnim življenjem in smrtjo.



Slika 4: Lipidne kapljice in avtofagija delujejo skupaj, da zaščitijo celice pred hudim pomanjkanjem hranil. V našem delu (M. Jusovič *et al.*, *Cancers* 15 (2023), 4857) dokazujemo, da se lipidne kapljice kopičijo v stradajočih rakavih celicah na način, ki je odvisen od avtofagije, in da kombinirano ciljanje na začetek avtofagije in biogenezo lipidnih kapljic vodi do smrti rakave celice (lipidne kapljice, obarvane z BODIPY, so obarvane zeleno, celična jedra pa modro).

kapljic smo oslabili dva ključna procesa za odpornost rakavih celic in s tem odkrili potencialni nov pristop za zdravljenje raka. Naše še neobjavljeno delo o mehanizmi, ki nadzorujejo razgradnjo lipidnih kapljic in usmerjajo lipide v druge organele, je v pripravi za objavo (Š. Koren *et al.*, v pripravi).

Naše tekoče raziskave o sposobnosti lipidnih kapljic za nadzor celičnih lipidnih tokov in obvladovanje smrti ferroptotičnih celic so prav tako v pripravi za objavo (A. Kump *et al.*, v pripravi; L. Perne *et al.*, v pripravi). Omenjeni rezultati so bili nedavno predstavljeni na dveh priznanih konferencah (EMBO Lipid Droplets Workshop; EMBO Ferroptosis Workshop) in naši kolegi so jih zelo dobro sprejeli. Za naše študije o ferroptizi in lipidnih kapljicah smo prejeli stipendijo EMBO Advanced Collaboration Grant, ki je finančno podprla širitev našega dela na lipidomiko in epilipidomiko. Naše študije o lipidnih kapljicah so bile predstavljene na vabljenih predavanjih tudi na več drugih konferencah in institucijah, vključno s 63. srečanjem ICBL v Španiji in Inštitutom za fiziologijo pri Češki akademiji znanosti.

V sodelovanju z več evropskimi skupinami, ki se ukvarjajo z lipidi, smo objavili pregledni članek, ki se osredotoča na trenutno stanje in bodoče izzive lipidomike organelov (M. J. Sarmiento *et al.*, *Cellular and Molecular Life Sciences* 80 (2023), 237).

Visokozmogljivostna genetika in funkcijska genomika pri običajni kvasovki *Saccharomyces cerevisiae*

Običajna ali vinska kvasovka *Saccharomyces cerevisiae* je dobro uveljavljen modelni organizem za osnovne raziskave in celično tovarno v biotehnologiji. V biotehnoloških aplikacijah je pomemben tudi za sintezo biologijo zaradi njegovega visoko učinkovitega sestavljanja fragmentov DNA, imenovanega *in yeast*, ki temelji na homologi rekombinaciji.

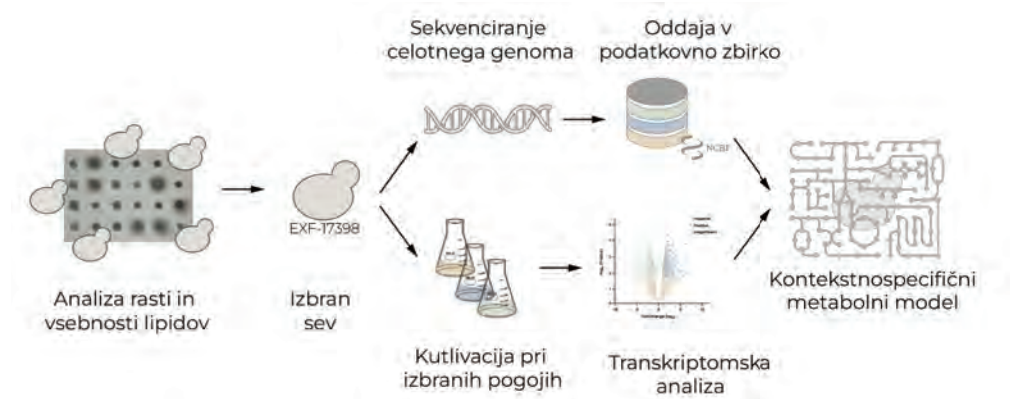
Genetika kvasovk, funkcionalna genomika in sintezna biologija za osnovne raziskave in biotehnologijo.

V okviru projekta L4-3181, *Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmacevtikov in celični terapiji*, smo razvijali orodje za hierarhično sestavljanje DNA s kombinacijo dveh pristopov sestavljanja, *in vitro* ter *in yeast*. Uspešno smo razvili

eksperimentalni postopek za sestavljanje genomov rekombinantnih bakteriofagov s spremenjenim obsegom gostitelja, ki bo velikega pomena za industrijskega partnerja in sofinancerja omenjenega projekta. Rezultati so bili predstavljeni na vabljenem predavanju na znanstveni konferenci in v članku (G. Žun *et al.*, *Yeast* 40 (2023), 32–41).

Z našimi partnerji v ERACoBioTech-ovem projektu OLEOFERM (<https://oleoferm.eu/>) smo odkrili nov biotehnološko uporaben sev oljne kvasovke *Yarrowia lipolytica* z obetavnim potencialom za proizvodnjo lipidov iz kratkoverižnih maščobnih kislin (SCFA) z uporabo tovarn celic kvasovk. Izvedli smo genomske in transkriptomске analize z namenom identifikacije presnovne poti, vključene v omenjeno biotransformacijo (slika 5). Do zdaj zbrane in urejene rezultate bomo predvidoma objavili v letu 2024.

V okviru ARIS-ovega projekta J4-4560 *Inženiring poligenjskih lastnosti pri S. cerevisiae* smo začeli razvijati po meri izdelane metode za selekcijo haploidov in nov test za presejanje izločanja proteinov. Predhodni rezultati so bili predstavljeni na lokalnih študentskih konferencah.



Slika 5: Shema izbire seva, genomska in transkriptomska analiza za identifikacijo presnovnih poti, vključenih v proizvodnjo mikrobnega olja iz kratkoverižnih maščobnih kislin.

Evolucijska genomika

Peptidaze papainske družine igrajo ključno vlogo pri razgradnji proteinov, regulirani proteolizi ter tekmovalju med gostiteljem in patogenom. Čeprav je bila papainska družina proteinov do zdaj predmet številnih študij, je znanje o njeni raznolikosti, izvoru in evoluciji pri evkariontih, bakterijah in arhejah omejeno. V preteklem letu smo odpravili omenjeno vrzel na način, da smo s filogenomsko analizo sledili izvoru in širjenju papainske družine z uporabo javno dostopnih informacij iz mnogih prokariotskih in evkariontskih proteomov, transkriptomov in genomov (D. Kordiš in V. Turk, *International Journal of Molecular Sciences* 24 (2023), 11761). Ugotovili smo, da je bila papainska družina prisotna v zadnjem univerzalnem skupnem predniku in se je nato med evkariogenezo z množično gensko inovacijo in diverzifikacijo močno razširila, kar je privedlo v evkariontskem predniku do nastanka osmih osnovnih C1A-linij. Gre za evkariontske C1A-peptidazne linije: katepsini B, C, X, L, H in F, peptidaza 26/29 kDa ter dolga C1-peptidaza tipa 1, ki so prisotne v vseh evkariontskih nadskupinah (slika 6). Papainska družina se je med evkariontsko evolucijo še razširila, predvsem z večjim podvojevanjem genov v linijah prednikov katepsina L in B. S tem smo v celoti potrdili, da je do diverzifikacije papainske družine prišlo pred nastankom evkariontov in da je izbruh inovacij med evkariogenezo privedel do evkariontskega prednika s kompleksnim nizom predhodnic C1A-linij. Ugotovitve te naše obsežne študije tako določajo smernice za nadaljnje strukturne in funkcionalne študije papainske družine.

Poreformirajoči toksini tvorijo pore v celičnih membranah in predstavljajo enega najbolj osnovnih obrambnih sistemov pri organizmih. Proteini aerolizinske naddružine vsebujejo aerolizinsko domeno, ki tvori pore, in domeno, ki veže receptorje (RBD). V nasprotju z visoko ohranjenimi domenami, ki so odgovorni za nastanek por, so RBD-ji zelo variabilni in njihove strukturne variacije vodijo do razlik v prepoznavanju tarče ter posledično v načinu delovanja. V številnih genomih in transkriptomih osnovnih, tj. bazalnih, metazojev (spužev, rebrač in ožigalkarjev) smo odkrili nepričakovano veliko raznolikost in številne nove domenske arhitekture aerolizinske naddružine. Analizirali smo izvor, raznolikost in zgradbo domen aerolizinske naddružine pri bazalnih metazojih ter pri različnih nevretenčarjih (rakih in mehkužcih) in devterostomih. Naša analiza jasno kaže na to, da je aerolizinska proteinska naddružina pri metazojih, pri katerih igra pomembno vlogo od obrambe gostitelja do prirojene imunosti, zelo raznolika (D. Kordiš, v pripravi).

Leta 2022 je bil na Pekinškem inštitutu za genomiko dokončan prvi osnutek velikega genoma naše jamske dvoživke, proteusa (*Proteus anguinus*). S 34 gigabazami (Gb) je med največjimi genomi, ki so bili kadarkoli sekvencirani, več kot 10-krat večji od človeškega genoma. V okviru projekta ARIS J1-2469, ki ga vodijo naši sodelavci na Biotehniški fakulteti UL (BF/UL), smo nadaljevali analizo genomskih in transkriptomskih podatkov tega jamskega močera. Poleg analize transpozicijskih elementov (TE) smo raziskovali različne jamske prilagoditve, kot so kemosenzorični sistem (vohalni receptorji, vomeronazalni receptorji in receptorji za okus), nabor receptorjev, povezanih z G-proteini, in obrambni sistemi proteusa genoma pred TE-ji (gene APOBEC, SCAN-ZNF in KRAB ZNF).

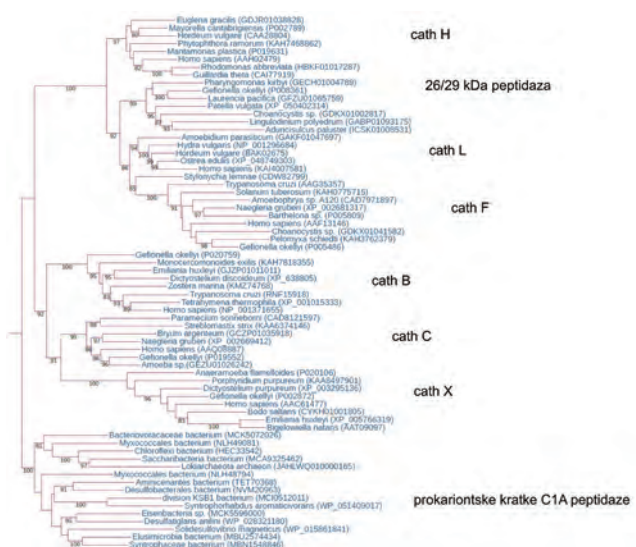
Druge področja

V letu 2023 smo sodelovali tudi pri različnih projektih izven tematskega okvira našega odseka, ki so jih financirali ARIS in drugi. Spodaj so navedeni le projekti, ki so že bili objavljeni ali pa se še pripravljajo na objavo.

V okviru ARIS-ovega projekta J1-2482 (vodilna institucija: BF/UL) smo z masno spektroskopijo ugotavljali vpliv okoljsko pomembne nano- in mikroplastike na kopenske vretenčarje. Izvedli smo tudi proteomsko analizo hemolimfe kopenskega rakca *Porcellio scaber* in razkrili komponente njegove prirojene imunosti v osnovnih pogojih (A. Jemec Kokalj *et al.*, *Biochimie* 213 (2023), 12–21).

Pri ARIS-ovem projektu J2-3040 o magnetno nadzorovanih nanonosilcih, ki posnemajo delce endogenih lipidov za izboljšanje dostave zdravil/nanodelcev, smo sodelovali kot partnerji pri analizi učinkov nanoplošč barijevega heksaferita v nizkofrekvenčnem magnetnem polju na rakave celice (T. Goršak *et al.*, *Journal of Colloid and Interface Science*, v tisku).

Evolucijska, genomska in strukturno-funkcionalna analiza proteaz in njihovih homologov. Genomska in transkriptomska analiza jamskih prilagoditev, kemosenzoričnega sistema in ponavljajoče se DNA.



Slika 6: Zgodnja diverzifikacija papainske družine v evkariontskem predniku. Razvejano drevo največje verjetnosti (ML) prikazuje evolucijska razmerja med sedmimi skupinami prednikov evkariontskih ortolognih genov: katepsini B, C, X, L, H in F ter peptidaza 26/29 kDa. ML-drevo predstavlja bootstrapno konsenzno soglasje po 1000 ponovitvah. Zaporedja so bila pridobljena iz podatkovne baze GenBank. Prikazana so vrstna imena organizmov in identifikacijske številke proteinskih zaporedij.

Neformalno smo sodelovali tudi z več skupinami doma in v tujini. Pri raziskovanju mehanizma nastanka in morfogeneze biomineralnih nanostruktur lupine školjke Noetova barčica (*Arca noae*) so pomagali sodelavcem z Instituta Ruđer Bošković in UZ. Izvedli smo strukturno identifikacijo proteinskih komponent lupine, ki so potencialno vključene v proces biomineralizacije (I. Sondi *et al.*, v pripravi).

V raziskavi, ki so jo vodili sodelavci s Fakultete za elektrotehniko UL, smo analizirali proteinsko sestavo korone različnih vrst nanodelcev s pomočjo proteomskega pristopa za določitev vezave na serumske proteine (L. Peternel *et al.*, v pripravi).

Kolegom z Medicinske fakultete UL smo priskočili na pomoč pri izvajanju konfokalne mikroskopske analize za funkcionalno validacijo nanotelesa α -FREM2 kot molekulskega orodja za specifično ciljanje na matične celice glioblastoma (N. Šamec *et al.*, *FEBS Journal*, poslano v objavo).

Skupaj s kolegi z Odseka za plinsko elektroniko (F6) na Institutu "Jožef Stefan" (IJS) smo proučevali zmanjšanje antigenosti cvetnega prahu navadne ambrozije in njenega primarnega alergena Amb a 1 s hladno plazmo na atmosferskem tlaku (N. Hojnik *et al.*, *Journal of Hazardous Materials*, poslano v objavo).

V sodelovanju, ki so ga vodili naši kolegi z Odseka za nanostrukturne materiale (K7) z IJS, smo raziskovali potencial veziklov iz membran rdečih krvničk kot varnega in učinkovitega sistema za dostavo terapevtskih nukleinskih kislin (G. Della Pelle *et al.*, v pripravi).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Dobaja-Borak, M., Grenc, D., Reberšek, K., Podgornik, H., Leonardi, A., Kurtović, T., Halassy, B., Križaj, I. and Brvar, M., Reversible and transient thrombocytopenia of functional platelets induced by nose-horned viper venom, *Thrombosis Research*, 2023, 229, 152–154
2. Jarc Jovičič, E., Pucer Janež, A., Eichmann, T. O., Koren, Š., Brglez, V., Jordan, P. M., Gerstmeier, J., Lainšček, D., Golob-Urbanc, A., Jerala, R., Lambeau, G., Werz, O., Zimmermann, R. and Petan, T., Lipid droplets control mitogenic lipid mediator production in human cancer cells, *Molecular Metabolism*, 2023, 76, 101791
3. Žun, G., Doberšek, K. and Petrovič, U., Construction and evaluation of gRNA arrays for multiplex CRISPR-Cas9, *Yeast*, 2023, 40, 1, 32–41
4. Kordiš, D. and Turk, V., Origin and early diversification of the papain family of cysteine peptidases, *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24, 14, 11761

Organizacija in soorganizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. prof. dr. Igor Križaj, član mednarodnega znanstvenega odbora, organizator sekcije Molekulske interakcije in mreže, 15. Srečanje Slovenskega biokemijskega društva, Portorož, Slovenija, 20. 9.–23. 9. 2023

Nagrade in priznanja

1. prof. dr. Igor Križaj: Zoisova nagrada za vrhunske dosežke na področju toksinologije. Državna nagrada na področju znanstvenoraziskovalne in razvojne dejavnosti, Odbor Republike Slovenije za podelitev nagrad in priznanj za izjemne dosežke v znanstvenoraziskovalni in razvojni dejavnosti.

MEDNARODNA PROJEKTA

1. COST CA19144; EUVEN - Evropska mreža za raziskavo strupov
COST Association AISBL
prof. dr. Igor Križaj
2. COST CA19105; LipidNET - Panevropska mreža za lipidomiko in epilepidomiko
COST Association AISBL
prof. dr. Toni Petan

PROGRAM

1. Toksini in biomembrane
prof. dr. Igor Križaj

PROJEKTI

1. Genomski in transkriptomski vpogled v edinstveno biologijo človeške ribice (*Proteus anguinus*)
prof. dr. Dušan Kordiš
2. Vpliv okoljsko relevantne nano- in mikro-plastike na kopenske nevretenčarje
prof. dr. Igor Križaj
3. Vnetni proces pri intersticijskem cistitisu in ovrednotenje delovanja agonistov kanabinoidnih receptorjev sečnega mehurja – od celic do pacienta
prof. dr. Igor Križaj
4. Reverzibilnost prehodne trombocitopenije izzvana s komponento kačjega strupa ponuja varno antitrombotično preventivo v intervencijski angiologiji in kardiologiji
prof. dr. Igor Križaj
5. Vpliv bakteriofaga na razvoj in larvicidno aktivnost bakterije *Bacillus thuringiensis* s parazitizmom podobno modulacijo
prof. dr. Igor Križaj

6. Prilagoditve vinskih kvasovk na podnebne spremembe
prof. dr. Uroš Petrovič
7. Razvoj inovativnega zdravila za vensko tromboembolijo na osnovi unikatnega antikoagulantna iz kačjega strupa
prof. dr. Igor Križaj
8. S posnemanjem endogenih lipidnih delcev do magnetno-odzivnih nanostruktur za izboljšano dostavo zdravil in nanodelcev
prof. dr. Igor Križaj
9. Načrtovanje in vstavljanje poligenih lastnosti v *S. Cerevisiae*
prof. dr. Uroš Petrovič
10. Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmacevtikov in celični terapiji
prof. dr. Uroš Petrovič
11. Lipidne kapljice kot viri vnetnih lipidnih mediatorjev pri raku
dr. Eva Jarc Jovičič
12. Medsebojni vpliv lipolize in lipofagije pri regulaciji ferroptoze pri raku
Mauro Danielli, PhD.
13. OLEOFERM - Trajnostna proizvodnja oleokemikalij z oljno fermentacijo karboksilatov
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
prof. dr. Uroš Petrovič

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Sofinanciranje L-projekta: Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmacevtikov in celični terapiji
Jafral, d. o. o.
prof. dr. Uroš Petrovič

OBISKI

1. prof. dr. Manjunatha Kini, Department of Biological Science, National University of Singapore, Republika Singapur, 17. 9.–24. 9. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Neža Repar, Biotehniška fakulteta, UL: Developing a model to test microplastic impact on lung epithelial barriers formation and functionality, 19. 1. 2023
2. Maja Hostnik, Biotehniška fakulteta, UL: Phage GIL01 influence on *Bacillus thuringiensis* sporulation, 19. 1. 2023
3. Tadeja Bele: Antagonists of $\alpha 7$ -nicotinic acetylcholine receptor and their potential therapeutic effects on lung cancer cells, 16. 2. 2023
4. Kity Požek: Advancement on the study of thrombocytopenia-inducing Vaa-snaclec-3/2 from the venom of the nose-horned viper, 16. 2. 2023
5. Alenka Vesel, Biotehniška fakulteta, UL: Interaction of recombinant proteins Cry34Ab1 and Cry35Ab1 from bacteria *Bacillus thuringiensis* with artificial lipid membranes, 12. 3. 2023
6. Adrijan Ivanušec: Group IIA secreted phospholipase A₂ and Alzheimer's disease?, 12. 3. 2023
7. Špela Koren: Lipid trafficking and oxidation under ferroptotic conditions: A lipidomic approach, 20. 4. 2023
8. Larisa Lara Popošek, Biotehniška fakulteta, UL: The quest for new lipid-binding proteins and biotechnological applications, 20. 4. 2023
9. dr. Veno Kononenko, Biotehniška fakulteta, UL: Gelatin nanoparticles-loaded with analog of marine toxin 3-alkylpyridinium salt APS7: a promising support in human lung cancer therapy, 18. 5. 2023
10. Luka Gnidovec, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, UL: Structural aspects of hnRNP H binding to G₄C₄ hexanucleotide repeats, 15. 6. 2023
11. Klementina Polanec, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, UL: Analysis of biotin identification targets of ORF1p and optimization of LINE1 retrotransposition assay with vtRNA and YRNA, 15. 6. 2023
12. Mojca Dobaja Borak, Medicinska fakulteta, UL: Reversible and transient thrombocytopenia induced by snake C-type lectin-like proteins (snaclecs) from the nose-horned viper venom, 19. 10. 2023
13. dr. Eva Jarc Jovičič: The mobilization of fat stores from lipid droplets regulates metabolic and energy demands of starving cells, 16. 11. 2023
14. Leja Perne: Lipid droplets and the control of cell fat(e)?, 16. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Tadeja Bele, Kity Požek: 47th Federation of European Biochemical Societies (FEBS) Congress, Tours, Francija, 5. 7.–12. 7. 2023 (2)
2. Eva Jarc Jovičič, Toni Petan: European Molecular Biology Organization (EMBO) Conference Lipid droplets: metabolic hubs in health and disease, Sant Feliu de Guixols, 17. 9. – 22. 9. 2023 (2)
3. Špela Koren, Igor Križaj, Adrijana Leonardi, Uroš Petrovič, Kity Požek: 15. Srečanje Slovenskega biokemijskega društva, Portorož, Slovenija, 20. 9.–23. 9. 2023 (5)
4. Igor Križaj: EUVEN training school 2023: Mini-symposium on Recent advances in pore forming toxins, Ljubljana, 27. 9.–29. 9. 2023 (1)
5. Igor Križaj: 29th Meeting on Toxinology of the French Society of Toxinology (SFET), Pariz, Francija, 29. 11.–3. 12. 2023 (1)
6. Dušan Kordiš: Society for Molecular Biology and Evolution (SMBE) Conference, Ferrara, Italija, 22. 7. –28. 7. 2023 (1)
7. Toni Petan: 63rd edition of the International Conference on the Bioscience of Lipids (ICBL), Palma de Mallorca, Španija, 2. 10.–5. 10. 2023 (1)
8. Toni Petan, Leja Perne: European Molecular Biology Organization (EMBO) Workshop, Seon, Nemčija, 23. 4.–27. 4. 2023 (2)
9. Leja Perne: EpiLipidNet COST sestanek in konferenca, Toulouse, Francija, 9. 7.–13. 7. 2023 (1)
10. Uroš Petrovič, Mia Žganjar, Gašper Žun: 31st International Conference on Yeast Genetics and Molecular Biology, Firenze, Italija, 20. 8.–25. 8. 2023 (3)
11. Kity Požek: Machine learning-Winterschool for Toxinologists, Garching, Nemčija, 10. 12.–17. 12. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Špela Koren: Dresden University of Technology, Dresden, Nemčija, 1. 1. 2023–17. 4. 2023 (raziskovalno delo v okviru doktorskega študija)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Dušan Kordiš
2. **prof. dr. Igor Križaj, znanstveni svetnik - vodja odseka**
3. doc. dr. Adrijana Leonardi
4. prof. dr. Toni Petan
5. prof. dr. Uroš Petrovič*
6. prof. dr. Jože Pungerčar
7. dr. Jernej Šribar

Podoktorski sodelavci

8. *Mauro Danielli, PhD., odšel 1. 10. 2023*
9. dr. Eva Jarc Jovičič
10. dr. Nina Mikec

Mlajši raziskovalci

11. *Tadeja Bele, MSc, R. Avstrija, odšla 1. 10. 2023*
12. *dr. Adrijan Ivanušec, odšel 1. 9. 2023*
13. Špela Koren, mag. biokem.
14. Leja Perne, mag. mol. funk. biol.
15. Kity Požek, mag. biokem.
16. Neža Škofljanc, mag. mol. funk. biol.
17. Mia Žganjar, mag. biokem.
18. Gašper Žun, mag. biokem.

Strokovni sodelavci

19. *Katja Doberšek, mag. biokem., odšla 1. 10. 2023*

Tehniški in administrativni sodelavci

20. Igor Koprivec
21. Vahida Suljić
22. mag. Maja Šimaga

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Banat University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Temisvar, Romunija
2. Biomedicine Institute of Valencia, Valencia, Španija
3. Commissariat à l'Energie Atomique-Saclay, Saclay, Francija
4. The Centre National de la Recherche Scientifique, Gif-sur-Yvette, Gif s/Yvette, Francija
5. Federation of European Biochemical Societies (FEBS)
6. Institute für Molekulare Biowissenschaften, Karl-Franzens-Universität, Graz, Avstrija
7. Institute for Wine Biotechnology Faculty of AgriSciences, Stellenbosch University, Južna Afrika
8. Institut Pasteur, Pariz, Francija
9. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
10. Kemijski inštitut, Ljubljana
11. Klinička bolnica Split, Hrvaška
12. Lek, d. d., Ljubljana
13. National University of Singapore, Singapur
14. Sofia University St. Kliment Ohridski, Sofija, Bolgarija
15. University of California, San Francisco, Združene države Amerike
16. University of Frankfurt, Frankfurt, Nemčija
17. University of Leuven, Leuven, Belgija
18. University of Milan, Institute of Endocrinology, Milano, Italija
19. University of Strathclyde, Glasgow, Škotska, Velika Britanija
20. University of Toronto, Terrence Donnelly Centre for Cellular and Biomolecular Research, Toronto, Kanada
21. University of Utrecht, Utrecht, Nizozemska
22. University of Virginia School of Medicine, Charlottesville, Virginia, Združene države Amerike
23. Univerza v Beogradu, Institut za molekularno genetiko i genetičko inženjerstvo, Srbija
24. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
25. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
26. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
27. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
28. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
29. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta
30. Univerza v Mostaru, Medicinska fakulteta, Mostar, Bosna in Hercegovina
31. Univerza v Tuzli, Fakulteta za farmacijo, Tuzla, Bosna in Hercegovina
32. Univerza v Zagrebu, Centar za istraživanje i prijenos znanja u biotehnologiji, Zagreb, Hrvaška
33. Univerza v Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Hrvaška
34. Univerzitetni klinični center, Pediatrična klinika, Ljubljana

Na Odseku za biotehnologijo z uporabo sodobnih biotehnoloških metod proučujemo molekule živalskega, rastlinskega, glivnega in mikrobiološkega izvora, ki jih želimo uporabiti v diagnostične in terapevtske namene v humani in veterinarski medicini, za zaščito rastlin, pripravo kakovostne in varne hrane ter za varovanje okolja. S tem prispevamo k izboljšanju zdravja ljudi in okolja, v katerem živimo. Naše raziskovalno delo je še posebej usmerjeno v proučevanje procesov napredovanja raka in imunskega odziva, nevrodegenerativnih procesov, mehanizmov delovanja gliv ter iskanje novih biotehnoloških pristopov in produktov.

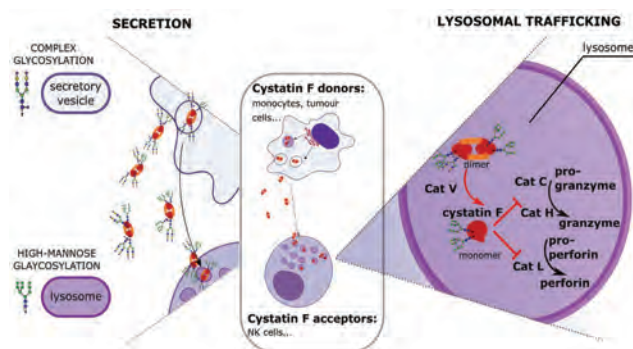


Vodja:
prof. dr. Boris Rogelj

Regulacija protitumorskega imunskega sistema

V letu 2023 smo nadaljevali raziskave na področju vloge peptidaz in njihovih inhibitorjev pri regulaciji protitumorskega imunskega sistema. Pri tem smo se osredotočili na delovanje inhibitorja cistatina F. Ta je pomemben modulator celične citotoksičnosti naravnih celic ubijalk in citotoksičnih limfocitov T. Ugotovili smo, da glikozilacijski profil cistatina F določa njegov transport v celične predelke, njegovo izločanje in vnos v celice. Dokazali smo, da razmerje med visokomanoznim tipom in kompleksnim tipom glikozilacije cistatina F vpliva na citotoksičnost NK celic. V prednabitih NK celicah, ki so se izkazale kot zelo učinkovite v protitumorski terapiji, je pri cistatinu F prisoten predvsem kompleksen tip glikozilacije, ki zmanjšuje njegov transport v endosome/lizosome, s tem pa se zmanjša njegov učinek na aktivacijo grancimov, ki so ključni za citotoksičnost NK celic. Po drugi strani pa cistatin F v NK-92 celicah izkazuje visokomanozni tip glikozilacije, kar pojasnjuje njihovo omejeno citotoksično delovanje. Regulacija glikozilacije cistatina F predstavlja novo orodje za izboljšanje učinkovitosti imunoterapije raka z NK celicami. Rezultate smo objavili v reviji *Cellular and molecular life sciences*, 2024, vol. 81, [COBISS.SI-ID 177482499]. S sodelavci na UCLA, Los Angeles smo uporabili humanizirani mišji model BLT za testiranje delovanja cistatina F na prednabite NK celice, pri čemer smo z uporabo proteomskih metod testirali izražanje cistatina F v tumorskih in imunskih celicah. Rezultati so poslani v tisk. Prednabite NK celice smo uporabili tudi v sekvenčni terapiji v kombinaciji z inhibitorji imunskih kontrolnih točk (protitelesa proti PD-1) in cisplatinom ter dokazali večjo učinkovitost kombinacije kot posamezne terapije na BLT miših. Rezultate smo objavili v reviji *Frontiers in immunology*, 2023, vol. 14, [COBISS.SI-ID 150785283].

Glikozilacijski profil cistatina F določa njegovo vlogo v citotoksičnosti NK celic.



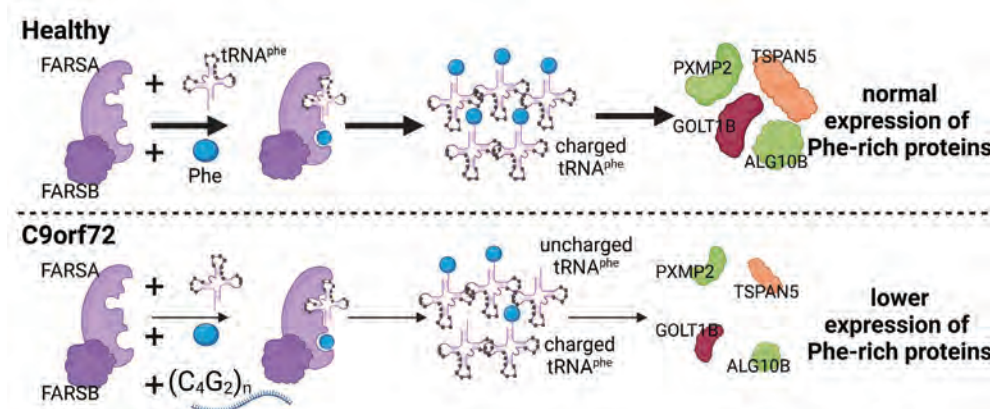
Slika1: Vloga glikozilacijskega profila pri razvrščanju cistatina F v NK celicah

Raziskave, povezane s covidom-19

Nadaljevali smo z raziskavami o vlogi cisteinskih peptidaz pri replikaciji SARS-CoV-2 virusa. Pri tem so se iz našega nabora inhibitorjev kot učinkoviti izkazali predvsem specifični inhibitorji katepsina B. Dokazali smo, da različne variante SARS-CoV-2 uporabljajo različne načine vnosa virusa v gostiteljske celice, pri sevu omikron prevladuje vnos z endocitozo, pri kateri imajo ključno vlogo gostiteljske lizosomske cisteinske peptidaze. Še posebej pomemben pri tem vnosu se je izkazal katepsin B, njegovi inhibitorji pa bi lahko bili ključni pri zaviranju vnosa in proliferacije korona virusov. Rezultate smo objavili v reviji *Antiviral Research*, vol. 216, 2023 [COBISS.SI-ID 156890115]. V sodelovanju s sodelavci z ICGEB iz Trsta in ETH in Univerze v Zürichu smo raziskovali vlogo cisteinskih peptidaz tudi pri postcovidnih zapletih, ki se odražajo v možganskem ožilju.

Molekularne osnove nevrodegeneracije

S staranjem prebivalstva in pomanjkanjem učinkovite terapije postajajo nevrodegenerativne bolezni eden vodilnih vzrokov smrti po vsem svetu. Na tem področju je naš glavni poudarek na izbranih genih in proteinih (TDP-43, FUS, C9orf72, SFPQ, MATR3 ...), povezanih z amiotrofično lateralno sklerozo (ALS), frontotemporalno demenco (FTD) in Alzheimerjevo boleznijo (AD). Večina teh genov je na nek način povezana z biogenezo, predelavo, transportom in razgradnjo RNA. Proučujemo jedrni transport, odziv celice na stres in makromolekularne interakcije, ki vodijo do napačne lokalizacije in agregacije teh proteinov.



Slika 2: Protismerne RNA ponovitve $(C4G2)_n$, ki nastanejo pri mutaciji C9orf72, vplivajo na delovanje proteina fenilalanin-tRNA sintetaza in pri bolnikih vodijo v zmanjšano izražanje proteinov, ki imajo v svojem zaporedju veliko fenilalanina.

V preteklem letu smo nadaljevali s študijem proteina STAU2, predhodno identificiranega interaktorja FUS. Ker STAU2 veže dsRNA, nam je z uporabo HEK293 FlpIn linij, ki izražajo mSc, mSc-FUS in mSc-FUSdNLS, uspelo potrditi povečano kopičenje dsRNA v citoplazmi celic ob sočasnem kopičenju mSc-FUSdNLS, ki tam sekvstrira tudi STAU2. Ali je ta mehanizem potenciran v stresnih pogojih, kjer bi to lahko upočasnilo pravilno prevajanje proteinov v nevronih in prispevalo k njihovi degeneraciji, ostaja predmet nadaljnjih raziskav. Po proučevanju učinka FUS^{P526} na tvorbo citoplazemskih agregatov v različnih celičnih modelih v letu 2022 smo nadaljevali proučevanje pojavljanja FUS^{P526} v možganskih nevronih pri obolenju frontotemporalne demence (FTD). Na humanih postmortem tkivih frontalnega korteksa smo potrdili povečan nivo fosforiliranega FUS^{P526} v piramidalnih nevronih v primerjavi s kontrolnimi pacienti. Vzorec pojavljanja fosforilirane oblike FUS^{P526} v nevronih je sovpadal s povečanim izražanjem aktivne oblike tirozinske kinaze c-Abl iz družine Src kinaz. Drobnozrnatost znotrajceličnih FUS^{P526} pozitivnih agregatov je pritrdila vlogi fosforilacije FUS pri začetnih stopnjah njegove patološke agregacije. Slednja se močno poveča v pogojih oksidativnega stresa in aktivaciji c-Abl kinaze, kar smo dokazali s pripravljeno celično linijo FlpIn SH-SY5Y, ki stabilno izraža fluorescentno označen protein G3BP1, osnovni gradnik stresnih granul, proteinskih agregatov, ki nastanejo pri zgodnjem odzivu na stres. Študija je bila v letu 2023 objavljena v reviji *Brain* in je prejela priznanje za izjemni dosežek na izboru Odlični v znanosti, ARIS.

Za določitev sprememb v interaktomu proteina TDP-43 med tvorbo in razpadom stresnih granul smo proteomsko ovrednotili štiri celične linije Flp-In HEK293, ki imajo v genom vključen zapis za različne oblike proteina TDP-43 v fuziji z askorbat peroksidazo (APEX2). Poleg tega smo v mišjih možganih s TDP-43 oziroma mutanto TDP-43dNLS opazovali lokalizacijo interaktorjev TDP-43 SFPQ, NONO, KPNA4 in FUS. Protein TDP-43 smo prav tako izražali v bakterijskih celicah. Izoliran protein smo nato uporabili za *in vitro* agregacijske teste. Pri tem nas je zanimal predvsem vpliv tRNA na agregacijo TDP-43. Ugotovili smo, da tRNA zaustavi agregacijo TDP-43 in protein ohrani topen tudi več dni. S sodelavci iz Laboratorija za molekularno imunologijo, Odsek za biotehnologijo, Univerze na Reki pa smo proučevali medsebojni vpliv med proteinoma TDP-43 in OPTN. Izsledki našega sodelovanja so bili objavljeni v reviji *Scientific report*. V sklopu tega sodelovanja pa smo v preteklem letu objavili tudi dva pregledna članka v reviji *Biomedicines*.

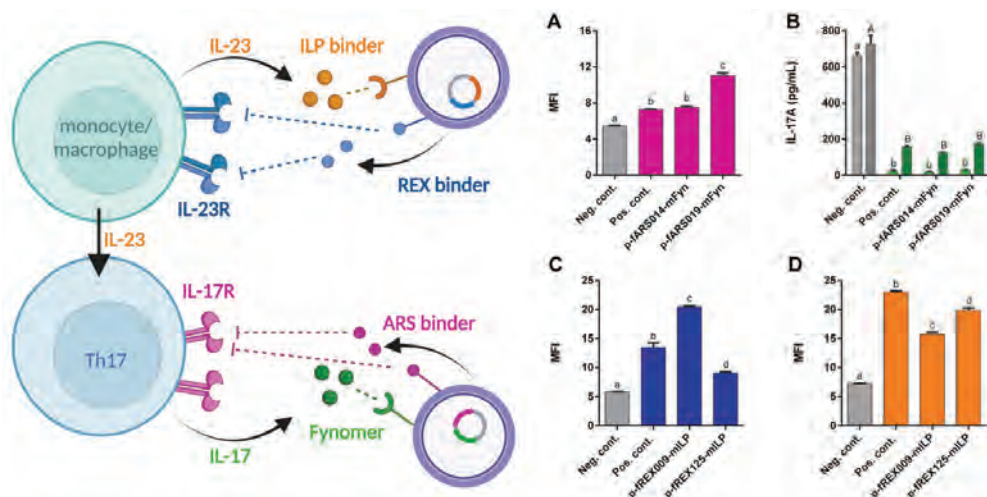
Mutacija v genu C9orf72 ovira uporabo fenilalanina pri sintezi proteinov.

V letu 2023 smo dokončali raziskavo o vplivu RNA ponovitev C4G2, ki nastanejo kot posledica mutacije v genu C9orf72 na delovanje proteina fenilalanin-tRNA sintetaza (FARS). Pokazali smo, da okvarjeno delovanje proteina FARS vodi v zmanjšano izražanje proteinov v bolezensko

relevantnih modelih, kot so diferencirane motoričnim nevrom podobne celice NSC-34, in v možganskih tkivih, pridobljenih iz bolnikov z mutacijo C9orf72. Naši rezultati so bili septembra 2023 objavljeni v reviji *Nature Communications*. V tem letu smo tudi nadaljevali z raziskavami vpliva prenosnih molekul iz družine karioferinov (KPNA-ji) na prenos proteinov TDP-43 in ORF1 v jedro. Pri tem smo proučevali vpliv različnih KPNA na prenos proteinov v poskusih z jedrnim transportom, kjer smo tudi izolirali oba proteina in večino predstavnikov družine KPNA. Dodatno smo z vzpostavljenimi stabilnimi celičnimi linijami za opazovanje proteina TDP-43 opazovali vpliv KPNA4 na njegov prenos.

Probiotiki

Provnetna os IL-23/Th17 spodbuja vnetje pri Crohnovi bolezni in ulceroznem kolitisu ter predstavlja terapevtsko tarčo monoklonskih protiteles. Citokin IL-23 aktivira receptor IL-23 (IL-23R) in spodbuja diferenciacijo naivnih T celic pomagalk (Th) v populacijo celic Th17. Te nato izločajo vnetne citokine, kot je IL-17. Neimunoglobulinski



Slika 3: Shematski prikaz (levo; Biorender.com) predvidenega delovanja bifunkcionalne bakterije *L. lactis*, ki je hkrati usmerjena proti IL-23 in IL-23R ali IL-17 in IL-17R, ter prikaz vezave IL-17A, IL-23 in njihovih receptorjev (desno) z bifunkcionalnimi bakterijami *L. lactis* z vezavnimi proteini ARS (A), fynomer (B), REX (C) in ILP (D).

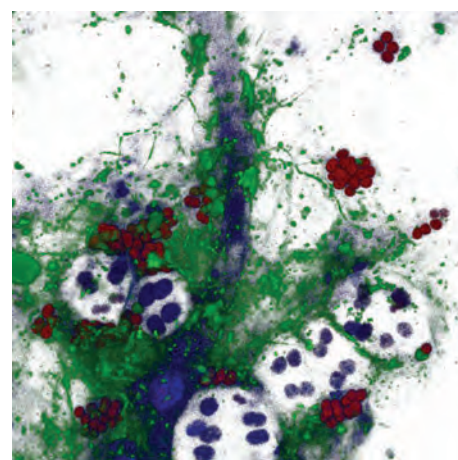
vezavni proteini, ki temeljijo na albuminski vezavni domeni (ABD) bakterije *Streptococcus*, predstavljajo relativno majhno alternativo monoklonskim protitelesom. Z inženiringom smo ustvarili varno mlečnokislinsko bakterijo *L. lactis*, ki na površini prikazuje ali izloča različne ABD proti receptorju IL-17 (IL-17R). Njihovo izražanje in funkcionalnost smo potrdili s pretočno citometrijo z uporabo specifičnega protitelesa ali rekombinantnega receptorja IL-17R. Poleg tega smo bakterije *L. lactis* gensko spremenili v večfunkcionalne bakterije, ki so hkrati izkazovale dve vezavni funkciji s pomočjo našega nedavno razvitega plazmida pNBBX. Vezalce receptorja IL-17R smo kombinirali z vezalcem citokina IL-17, vezalce receptorja IL-23R pa z vezalci citokina IL-23. Njihovo delovanje smo potrdili s pretočno citometrijo z rekombinantnimi receptorji IL-17R in IL-23R ali podenoto p19 citokina IL-23 kot tarčami. Rekombinantne bakterije, ki vežejo IL-17 (2×10^9), so iz raztopine odstranile 97 % IL-17. Poleg tega so večnamenske bakterije, ki so bile usmerjene proti IL-17/IL-17R, preprečile aktivacijo signalne poti citokina IL-17A v celičnem modelu HEK-Blue IL-17. Da bi se osredotočili na praktično uporabo razvitih bakterij, smo rast gensko spremenjenih bakterij primerjali z rastjo kontrolnih bakterij in opazili le rahlo zmanjšanje hitrosti rasti. Spremljali smo tudi stabilnost plazmida v odsotnosti antibiotičnega selekcijskega pritiska in opazili, da se plazmidi stabilno ohranjajo vsaj štiri dni, kar potrjuje uporabnost sistema.

Uvedli smo novo sinergistično strategijo za zdravljenje črevesnih vnetij s hkratnim delovanjem na več akterjev proinflamatorne osi IL-23/Th17 s probiotičnimi bakterijami kot *in situ* dostavnimi sistemi.

Mikrobna glikobiologija

Na področju mikrobne glikobiologije smo v letu 2023 nadaljevali z raziskavami, usmerjenimi v molekularne mehanizme razvoja bakterijskih biofilmov. Osredotočili smo se na razvoj metodologij in pripravili podroben opis protokola za metodo Simba, ki smo jo razvili v sodelovanju z Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani. Ta omogoča razlikovanje med protimikrobnim in protibiofilmskim delovanjem testiranih učinkovin na modelu patogene bakterije *Salmonella*. Nadalje smo v januarju organizirali minisimpozij o uporabi nuklearne magnetne resonance (NMR) v mikrobni glikobiologiji, v okviru katerega smo pokazali, da sta razvoj novih in optimizacija obstoječih metod pomembna za nadaljnji razvoj raziskav na področju mikrobne glikobiologije. K razvoju metodologij za proučevanje bakterijskih biofilmov so usmerjeni tudi interdisciplinarni projekti, ki jih izvajamo v sodelovanju z Odsekom za sintezo materialov (K8) oziroma z Odsekom za tehnologije znanja (E8) in Odsekom za fiziko trdne snovi (F5). Drug vidik proučevanja bakterijskih biofilmov pa smo naslovili v preglednem članku o dosedanjih dognanjih o posameznih strukturah, ki sestavljajo celično površino bakterij *Campylobacter jejuni* in so povezani z razvojem biofilma ali pritrjevanjem na različne površine. Celostno poznavanje lastnosti površinskih struktur, ki so vpletene v proces tvorbe biofilmov, in načina, kako so vanj vpletene, je zelo pomembno, saj biofilmi omogočajo bakterijam dolgoročno preživetje v raznovrstnih okoljih. Razumevanje vloge površinskih struktur pa bo prispevalo k razvoju novih strategij za nadzor mikroorganizmov, ki najbolj ogrožajo zdravje ljudi in živali.

Na področju glikobiologije in aplikacij bioaktivnih proteinov smo nadaljevali z raziskavami, usmerjenimi v molekularne mehanizme delovanja glivnih lektinov, in nadaljevali z analizo



Slika 4: Selektivno označevanje mikrobnih članov biofilma iz vodnega okolja. Zeleno označene so t. i. evbakterije, z rdečo cianobakterije, z modro pa vsi člani biofilma, saj se barvilo veže neselektivno na DNA vseh organizmov.

Razvoj novih metod je ključen za razvoj raziskovalnega področja mikrobne glikobiologije.

toksičnosti glivnih inhibitorjev peptidaz in lektinov na invazivne škodljivce v okviru projekta FunConRApest (Novi proteini gliv kot biopesticidi za zatiranje invazivnih tujerodnih kmetijskih škodljivcev), ki ga sofinancirata slovenska in madžarska raziskovalna agencija. V sodelovanju s projektnimi partnerji smo se v letu 2023 osredotočili na mehanizme delovanja izbranih

lektinov na ličinke koloradskega in koruznega hrošča.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Malnar, Mirjana, Čerček, Urša, Yin, Xiaoke, Tin Ho, Manh, Repič-Lampret, Barbka, Neumann, Manuela, Hermann, Andreas, Rouleau, Guy, Suter, Beat, Mayr, Manuel, Rogelj, Boris, Phenylalanine-tRNA aminoacylation is compromised by ALS/FTD-associated C9orf72 C4G2 repeat RNA, *Nature communications*, 2023, **14**, 5764, DOI: 10.1038/s41467-023-41511-3
2. Knez, Damijan, Diez-Iriepa, Daniel, Chioua, Mourad, Gottinger, Andrea, Meden, Anže, Pišlar, Anja, Kos, Janko, Žakelj, Simon, Stojan, Jure, Gobec, Stanislav, Marco-Contelles, José, *et al.*, 8-Hydroxyquinolyl nitrones as multifunctional ligands for the therapy of neurodegenerative diseases, *Acta pharmaceutica sinica B*, 2023, **13**, 15, 2152-2175
3. Motaln, Helena, Čerček, Urša, Yamoah, Alfred, Tripathi, Priyanka, Aronica, Eleonora, Goswami, Anand, Rogelj, Boris, Abl kinase-mediated FUS Tyr526 phosphorylation alters nucleocytoplasmic FUS localization in FTL-D-FUS, *Brain*, 2023, **146**, 10, 4088-4104, DOI: 10.1093/brain/awad130
4. Bonotto, R. Milan, Mitrović, Ana, Sosič, Izidor, Martinez-Orellana, Pamela, Dattola, Federica, Gobec, Stanislav, Kos, Janko, Marcello, Alessandro, Cathepsin inhibitors nitroxoline and its derivatives inhibit SARS-CoV-2 infection, *Antiviral research*, 2023, **216**, 105655
5. Sabotič, Jerica, Janež, Nikolaja, Volk, Manca, Klančnik, Anja, Molecular structures mediating adhesion of *Campylobacter jejuni* to abiotic and biotic surfaces, *Veterinary Microbiology*, 2023, **287**, 109918, DOI: 10.1016/j.vetmic.2023.109918

Organizacija in soorganizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Aleš Berlec, Cell4Chem 3rd Mid-Term Meeting, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 10. 10.-11. 10. 2023
2. Urša Čerček, Helena Motaln, Jerneja Nimac, Boris Rogelj, SiNAPSA Neuroscience Conference '23, Ljubljana, 28. 9.-30. 9. 2023
3. Sabotič Jerica, NMR in microbial glycobiology : mini symposium, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 24. 1. 2023

Nagrade in priznanja

1. Helena Motaln, Boris Rogelj, Odlični v znanosti 2023, ARIS, za objavo Motaln *et al.*, *Brain*, 2023.Oct 3;146(10):4088-4104. doi: 10.1093/brain/awad130
2. Jerica Sabotič: nagrada za predstavitev posterja *EBTNA Award for Poster Presentation*, Ljubljana, European Biotechnology Congress 2023, poster z naslovom *Diabrotica v. virgifera* resists the effect of entomotoxic fungal protease inhibitors in food
3. Spase Stojanov, Krkino priznanje s posebno pohvalo za dodiplomske in podiplomske raziskovalne naloge za doktorsko disertacijo *Engineering of fluorescent vaginal Lactobacillus species for their monitoring in nanofibers and cell models*, Novo mesto, Krka, d. d.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ALS CURE projekt; Vpliv stanja fosforilacije TDP-43 in FUS na bolezen
ALS CURE Project Inc
prof. dr. Boris Rogelj
2. COST CA18238; Ocean4Biotech - Evropska transdisciplinarna mreža za morskobiotehnologijo
COST Association AISBL
dr. Jerica Sabotič
3. COST CA19123; PHOENIX - Varovanje, stabilnost, rehabilitacija degradiranih okolij
COST Association AISBL
prof. dr. Aleš Berlec
4. Izboljšanje citotoksičnosti NK celic z modulacijo cistatina F
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Milica Perišić Nanut
5. Karakterizacija novega lektina iz gliv
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Jerica Sabotič
6. COST CA21135; IMMUNO-model: Modeliranje imunoterapevtskega odziva in toksičnosti raku;
COST Association AISBL
dr. Milica Perišić Nanut
7. Virtualna mobilnost za projekt COST CA18238; Optimizacija analize selektivno označenih skupnosti biofilmov za raziskovanje sestave naravnih biofilmov
COST Association AISBL
dr. Jerica Sabotič
8. Vrednotenje učinkov zaviranja cistatina F pri eksperimentalnem modelu autoimunskega encefalomielitisa: Potencialni terapevtski pristop za multiplo sklerozo (TARGET-CYSF-MS)
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Milica Perišić Nanut

PROGRAMA

1. Farmacevtska biotehnologija: znanost za zdravje
prof. dr. Janko Kos
2. Morska in mikrobna biotehnologija
dr. Jerica Sabotič

PROJEKTI

1. Bakterioidna nanorezila: preizkus bimodalnega mehanokemijskega odstranjevanja površinskih biofilmov
dr. Jerica Sabotič
2. Katepsina B in X v tumorskih matičnih celicah raka dojke - molekulske tarče in pomen za protitumorno terapijo
doc. dr. Ana Mitrović
3. Med-bakterijska dinamika biofilma: vpliv na tvorbo in strukturo biofilma bakterij *Campylobacter* z namenom razvoja novih inovativnih strategij nadzora
dr. Jerica Sabotič
4. Rekombinantni probiotiki kot bio-alternativni protimikrobni pristop proti bakteriji *Clostridioides difficile*
prof. dr. Aleš Berlec

5. Molekularni mehanizmi specifičnosti pri uravnavanju izločanja in delovanja citokinov mišičnega izvora
prof. dr. Boris Rogelj
6. Nanovlakna za sočasno dostavo koktajlov izbrane mikrobiote in protimikrobnih učinkovin za lokalno zdravljenje vaginalnih infekcij
prof. dr. Aleš Berlec
7. Mikroplastika kot vektor mikrobne kontaminacije, okužbe in odpornosti: primer bakterij *Campylobacter* v proizvodnji perutninskega mesa
dr. Jerica Sabotič
8. Vloga novega sekvenčnega motiva bogatega z alanini pri kondenzaciji RNA-vezavnih proteinov
prof. dr. Boris Rogelj
9. Povečanje učinkovitosti protimikrobnih snovi z elektroporacijo
dr. Jerica Sabotič
10. Inhibitorij nastanka bakterijskih biofilmov: nov pristop za obvladovanje bakterijske rezistence
dr. Jerica Sabotič
11. Napake v jedrnem transportu pri frontotemporalni demenci
prof. dr. Boris Rogelj
12. Cistatin F kot mediator imunske supresije v mikrookolju glioblastoma
dr. Milica Perišić Nanut
13. Novi proteini gliv kot biopesticidi za zatiranje invazivnih tujerodnih kmetijskih škodljivcev
dr. Jerica Sabotič
14. Majhni proteinski blokatorji osi IL-23/IL-17 izločeni iz probiotičnih bakterij kot zaviralci vnetja prebavil
prof. dr. Aleš Berlec
15. Ciljanje faznega ločevanja in agregacije proteinov v nevrodegenerativnih proteinopatijah TDP-43
prof. dr. Boris Rogelj
16. Nepravilnosti v translaciji, ki so podlaga za amiotrofično lateralno sklerozo in frontotemporalno demenco povezano z mutacijo v genu *C9orf72*
prof. dr. Boris Rogelj
17. Antimikrobne površine na podlagi kontakta na zahtevo: strategija za nadzor okužb prijazna ljudem in okolju
dr. Milica Perišić Nanut
18. Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
dr. Jerica Sabotič
19. Selektivno mehansko odstranjevanje bakterijskih biofilmov s konjugiranimi magnetnimi nanodelci
prof. dr. Aleš Berlec
20. Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba
doc. dr. Helena Motaln
21. VUV in UV sevanje iz plazme - metoda za učinkovito dekontaminacijo Aflatoksinov
doc. dr. Helena Motaln
22. Razvoj mlečnokislinskih bakterij za ciljno dostavo protitumorskih učinkovin
dr. Abida Zahirović
23. NK celična terapija glioblastoma: Modulacija cistatina F za izboljšanje učinkovitosti terapije
dr. Emanuela Senjor
24. Cell4Chem: Inženirstvo mikrobnih skupnosti za pretvorbo lignoceluloze v srednje-verižne karboksilate
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
prof. dr. Aleš Berlec
25. Morska in mikrobna biotehnologija
dr. Jerica Sabotič

OBISKI

1. dr. Stefano Cacciatore, ICGEB - International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, Cape Town, Južna Afrika, 22. 3. 2023
2. Giulia Candini, doktorska študentka, Univerza v Bologni, Bologna, Italija, 1. 1. 2023-31. 3. 2023
3. dr. Lionel Muller Igaz, School of Medicine, University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 4. 9.-5. 9. 2023
4. dr. Stefan Toepfer in dr. Szabolcs Toth, Univerza MATE, Godollo, Madžarska, 10. 10. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Igaz Lionel Muller, School of Medicine, University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Modelling TDP-43 proteinopathy, 4. 9. 2023
2. dr. Ana Mitrović: Inhibitorji katepsinov nitroksolin in njegovi derivati zavirajo SARS-CoV-2 okužbo, 18. 9. 2023
3. Tjaša Peternel: Ekspresija in izolacija lektinov, 27. 2. 2023

4. dr. Tina Vida Plavec: Izolacija in analiza zunajceličnih veziklov iz rekombinantnih *Lactococcus lactis*, 16. 10. 2023
5. dr. Jerica Sabotič: Deciphering the mechanisms of anticancer activity of fungal lectins, 13. 3. 2023
6. dr. Emanuela Senjor: Zunajcelični vezikli v biologiji in biomedicinskih aplikacijah, 16. 6. 2023
7. dr. Abida Zahirović: Razvoj rekombinantnih sevov *L. lactis* s sposobnostjo vezave C. difficile toksinov, 22. 5. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Aleš Berlec, Petra Štravs, Symposium on Lactic Acid Bacteria, Egmond aan Zee, Nizozemska, 27. 8.-31. 8. 2023 (2)
2. Aleš Berlec, Urša Čerček, Manca Černila, Ana Mitrović, Helena Motaln, Jerneja Nimac, Nanut Milica Perišić, Tjaša Peternel, Jure Pohleven, Boris Rogelj, Jerica Sabotič, Emanuela Senjor, Nives Škorja Milčič, Nika Zaveršek, 15th Meeting of the Slovenian Biochemical Society, Portorož, 20. 9.-23. 9. 2023 (14)

3. Urša Čerček, EMBO Workshop: Protein quality control: From molecular mechanisms to therapeutic intervention, Srebreno – Dubrovnik, Hrvatska, 21. 5.–26. 5. 2023. (1)
4. Urša Čerček, Manca Černila, Jerneja Nimac, Petra Štravs, 15. Študentska konferenca Mednarodne podiplomske Šole Jožefa Stefana (IPSSC), Turning problems into solutions, Kamnik, 31. 5.–2. 6. 2023 (4)
5. Urša Čerček, Helena Motaln, Jerneja Nimac, Boris Rogelj, Nives Škorja Milič, European Network to Cure ALS meeting 2023, Barcelona, Španija, 11. 7.–15. 7. 2023 (5)
6. Urša Čerček, Helena Motaln, Jerneja Nimac, Boris Rogelj, Nives Škorja Milič, SINAPSA Neuroscience Conference '23, Ljubljana, 28. 9.–30. 9. 2023 (5)
7. Nikolaja Janež, The 21st Eurocarb conference 2023, Pariz, Francija, 9. 7.–13. 7. 2023 (1)
8. Nikolaja Janež, Molecular-scale biophysics Research Infrastructure Short Course ESC5: Label-free techniques for the characterization of protein interactions, Praga, Češka, 3. 5.–5. 5. 2023 (1)
9. Nikolaja Janež, Structural glycoscience summer school 2023, Grenoble, Francija, 5. 6.–7. 6. 2023 (1)
10. Ana Mitrović, Nanut Milica Perišić, COST Proteocure WG1 & SFBM Cellular Proteolysis GT JOINT MEETING, Pariz, Francija, 21. 5.–25. 5. 2023 (2)
11. Ana Mitrović, European Association for Cancer Research Congress: Innovative Cancer Science, Torino, Italija, 12. 6.–15. 6. 2023 (1)
12. Helena Motaln, Jerneja Nimac, Boris Rogelj, Arturo Falaschi Conference *1st biennial conference on TDP-43 function and dysfunction in disease*, Trst, Italija, 6. 9.–8. 9. 2023 (3)
13. Jerneja Nimac, EMBO Workshop RNA meets protein decay, Cavtat, Hrvatska, 23. 5.–27. 5. 2023 (1)
14. Jerneja Nimac, European summer School on Artificial Intelligence (ESSAI & ACAI 2023), Ljubljana, 24. 7.–28. 7. 2023 (1)
15. Milica Perišić Nanut, European Organisation for Research and Treatment of Cancer, Melanoma Group Spring Meeting, Berlin, Nemčija, 22. 3.–25. 3. 2023 (1)
16. Milica Perišić Nanut, 6th Congress of Serbian Association for Cancer Research (SDIR): From Collaboration to Innovation in Cancer Research, Beograd, Srbija, 2. 10.–4. 10. 2023 (1)
17. Tina Vida Plavec, 10th FEMS Congress of European Microbiologists, Hamburg, Nemčija, 9. 7.–13. 7. 2023 (1)
18. Tina Vida Plavec, Small New World 2.0, Gradec, Avstrija, 4. 9.–5. 9. 2023 (1)
19. Tina Vida Plavec, EMBO | EMBL Symposium: The human microbiome, Heidelberg, Nemčija, 20. 9.–23. 9. 2023 (1)
20. Boris Rogelj, 28th Annual International Conference RNA 2023, Singapur, 30. 5.–4. 6. 2023 (1)
21. Boris Rogelj, 20th International Congress of Neuropathology, Berlin, Nemčija, 12. 9.–16. 9. 2023 (1)
22. Jerica Sabotič, COST Action CA18238 Ocean4Biotech Management Committee Meeting & Ocen4Biotech conference, Rim, Italija, 23. 5.–25. 5. 2023
23. Jerica Sabotič, Alumniteka - How does science adapt and respond to societal needs and challenges? Ljubljana, 6. 9. 2023
24. Jerica Sabotič, European Biotechnology Congress 2023, Ljubljana, 4. 10.–6. 10. 2023
25. Emanuela Senior, EMBO Practical Course: Extracellular vesicles: from biology to biomedical applications, Heidelberg, Nemčija, 11. 3.–18. 3. 2023 (1)
26. Emanuela Senior, Cancer Immunotherapy and Immunomonitoring (CITIM) : 7th International Conference, Vilna, Litva, 24. 7.–27. 7. 2023 (1)
27. Emanuela Senior, EMBO Practical Course: Hands on flow cytometry, learning by doing, Heidelberg, Nemčija, 13. 11.–17. 11. 2023 (1)
28. Abida Zahirović, EMBL Symposium Seeing is believing: imaging the molecular processes of life, Heidelberg, Nemčija, 4. 10.–7. 10. 2023 (1)
29. Abida Zahirović, Beneficial microbes conference, Amsterdam, Nizozemska, 27. 11.–9. 11. 2023 (1)
30. Nika Zaveršek, 18. simpozij CFGBC – Centre for Functional Genomics and Bio-Chips, Ljubljana, 1. 6. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Nikolaja Janež: CNR-IRSA, Rim, Italija, 9. 9.–7. 10. 2023
2. Helena Motaln: University of Antwerp, Vaccine and Infectious Disease Institute (Vaxinfectio), Laboratory of Experimental Haematology, 2610 Wilrijk, Belgium, 1. 10.–31. 10. 2023
3. Petra Štravs: CNRS-LCB (French National Centre for Scientific Research – Laboratory of Chemical Bacteriology), Marseille, Francija, 4. 9.–6. 10. 2023
4. Nika Zaveršek: Paris Lodron Universität Salzburg, Salzburg, Avstrija, 12. 11.–30. 11. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Aleš Berlec
2. prof. dr. Janko Kos*, znanstveni svetnik
3. doc. dr. Helena Motaln
4. dr. Milica Perišić Nanut
5. **prof. dr. Boris Rogelj, vodja odseka**
6. dr. Jerica Sabotič
7. prof. dr. Borut Štrukelj*, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

8. dr. Nikolaja Janež
9. doc. dr. Ana Mitrović
10. dr. Tina Vida Plavec
11. dr. Emanuela Senior
12. dr. Spase Stojanov
13. dr. Nives Škorja Milič
14. dr. Abida Zahirović

Mlajši raziskovalci

15. Karolina Belingar, mag. mikrobiol.
16. Urša Čerček, mag. ind. farm.
17. Anja Dremelj, mag. farm.
18. Jerneja Nimac, mag. biokem.
19. Petra Štravs, mag. biotehnol.
20. Nika Zaveršek, mag. biokem.

Strokovni sodelavci

21. Manca Černila, mag. lab. biomed.
22. Tjaša Peternel, mag. biotehnol.
23. dr. Jure Pohleven
24. Klementina Polanec, mag. biokem.

Tehniški in administrativni sodelavci

25. Vahida Suljić
26. mag. Maja Šimaga
27. Tadeja Tumpej, mag. biotehnol.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales – CERMAV, Grenoble, Francija
2. Centro para la Calidad de los Alimentos (INIA), Soria, Španija
3. Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich, Švica
4. Inha University, Južna Koreja
5. International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology – ICGEB, Trst, Italija
6. Institute of Biotechnology of the Czech Academy of Science, BIOCEV Research Center, Vestec, Republika Češka
7. King's College London, Institute of Psychiatry, Velika Britanija
8. Kmetijski inštitut, Ljubljana
9. Leiden University Medical Center, Center for Proteomics and Metabolomics, Leiden, Nizozemska
10. Lek, d. d., Ljubljana
11. Ludwig Maximilian University, Munich, Nemčija
12. Medical School Duluth, Department of Physiology and Pharmacology, Duluth, Združene države Amerike
13. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana
14. Szent Istvan University, Institute for Plant Protection, Godollo, Madžarska
15. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Švica
16. Université de Lorraine, INRA, Francija
17. Univerza v Beogradu, Fakulteta za biologijo, Beograd, Srbija
18. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
19. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
20. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
21. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Maribor
22. Univerzitet u Tuzli, Farmaceutski fakultet, Tuzla, Bosna in Hercegovina
23. Univerzitet u Tuzli, Medicinski fakultet, Tuzla, Bosna in Hercegovina
24. University of Bristol, School of Biological Sciences, Bristol, Velika Britanija
25. University of California, Los Angeles, Združene države Amerike
26. University of California, Ludwig Cancer Research, San Diego, Združene države Amerike
27. University of Kyiv – Mohyla Academy, Kijev, Ukrajina
28. University of London, Velika Britanija
29. University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) Dunaj, Avstrija
30. University of Padova, Padova, Italija
31. University of Pittsburgh, Združene države Amerike
32. University of Trieste, Department of Life Sciences, Italija
33. University of Salzburg, Department of Molecular Biology, Avstrija
34. University of Zurich, Institute of Plant Biology, Zollikerstr, Švica
35. Zavod Biomedicinska razvojno inovativna skupina, Ljubljana

Odsek za znanosti o okolju raziskuje prepletanje fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov, ki oblikujejo naše okolje, ter vpliv človeka in njegove dejavnosti na okolje. Naše raziskave so interdisciplinarne in multidisciplinarne ter potekajo v več sklopih, kot so analizna kemija okolja, kroženje snovi in elementov v okolju, mikroba sistemska ekologija, okolje, zdravje in hrana, okoljske tehnologije in nadzorne meritve v okolju. Sodelujemo pa tudi pri razvoju tehničnih rešitev za okoljske probleme in upravljanje okolja. V okviru odseka delujejo tudi ISO-FOOD – ERA katedra za kakovost, varnost in sledljivost živil z uporabo izotopskih tehnik, infrastrukturni Center za masno spektrometrijo (CMS), Infrastrukturni center za meritve ionizirajočega sevanja (ICMIS) in ELME – ekološki kemijski laboratorij z mobilno enoto.



Vodja:

prof. dr. Milena Horvat

Analizna kemija okolja in bioloških sistemov

Anorganska analiza in specijacija

Vloga kemijskih elementov v sledovih in njihov vpliv na okolje ter žive organizme sta odvisna ne le od njihove skupne koncentracije, temveč tudi od kemijskih oblik, v katerih so prisotni. Zato usmerjamo svoje raziskave v razvoj novih analitskih postopkov za določanje elementov in njihovih kemijskih zvrsti v okoljskih in bioloških vzorcih.

Pri specijaciji elementov v sledovih smo začeli sistematično raziskavo o vplivu delovanja galvane v Uniorju na zdravje delavcev, prebivalcev Zreč ter na okolje na širšem območju Zreč. Razvijamo in optimiziramo nove analizne metode za specijacijo kroma v bioloških in okoljskih vzorcih.

Znotraj MSCA štipendije STROMASS smo razvili hitro metodo za določanje Sr-90 v vzorcih vode in mleka z ICP-MS, kar omogoča hitrejšo analizo večjega števila vzorcev, še posebej v izrednih razmerah. Metoda je bila preizkušena na medlaboratorijski interkomparaciji IAEA z odličnimi rezultati.

Za natančno določanje izotopske sestave Cd v morski vodi smo začeli razvoj nove analizne metode. Prav tako smo razvili metodo za določanje izotopskega razmerja $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v cementu ter metodo za analizo stabilnih izotopov živega srebra v vzorcih vode.

V okviru nacionalnega projekta WellBEEing razvijamo analizne postopke za identifikacijo in kvantifikacijo anorganskih nanodelcev in mikroplastike v vzorcih čebel in cvetnega prahu ter optimiziramo pripravo vzorcev z uporabo mikrovalovnega razklopa za določitev večelementne sestave v vzorcih insektov z analizo ICP-MS.

V okviru projektov GMOS-Train in SI-Hg smo se osredotočili na meritve atmosferskih Hg oblik. Ocenili smo obstoječe parametre specijacije atmosferskega Hg, vključno z vzorčenjem, predkoncentracijo in kalibracijo. Ustreznost postopkov vzorčenja in predkoncentracije (sorbentni lovci, sorbentne membrane, impinger raztopine in denuderji) je bila preizkušena glede njihove primernosti za sledljivo specijacijo atmosferskega Hg.

Organska analiza

Sintetizirali smo molekularno vtisnjene polimere (MIP), ki so namenjeni ekstrakciji zdravilne učinkovine bupivakain iz vzorcev krvi. Medtem ko je pri višjih koncentracijah ta material pokazal obetavne rezultate, so se MIP za določanje nižjih koncentracij bupivakaina izkazali kot neprimerni, razlog za to je permanentno odpuščanje globoko vezanega bupivakaina v koncentracijah v sledovih. Ta problem smo rešili z modifikacijo sinteze MIP, in sicer smo zamenjali šablono bupivakain z analogoma, ki sta mu podobna po kemijski strukturi in vezavnih lastnostih.

Prav tako smo za lokalni anestetik bupivakain in sedativ dekdemetomidin razvili referenčno metodo za krvno plazmo, ki izkorišča nespecifične interakcije za adsorpcijo na trdni fazi. To metodo smo nato uporabili za farmakokinetične študije pri anesteziranih psih po enkratni intravenski ali perinevralni aplikaciji zdravil. Takšne študije so pomembne v kontekstu izboljšanja zdravljenja bolečine pri psih po ekstrakciji zoba.

Optimizirali in poenostavili ter ponovno validirali smo tudi analizo metodo za določanje bleomicina v vzorcih krvi in tumorjev. V tem okviru smo vključili napredne ekstrakcijske materiale in prenos na sistem za ekstrakcijo na mikrotitrskih 96-mestnih ploščah pri nadtlaku. V okviru revalidacijske metode smo proučevali stabilnost analita v različnih matriksih in vzpostavili primerno kontrolo kakovosti metode. Metoda je bila v nadaljevanju prilagojena tudi za določanje bleomicina pri koncentracijah v sledovih v *in vitro* sistemih.

V sodelovanju z oddelkom za fiziko kondenziranih snovi (F5) raziskujemo uporabo hlapnih organskih spojin pri diagnostiki pljučnega raka, uporabljene analitske tehnike ter težave, povezane z obdelavo in standardizacijo

Odprtje SURFBIO Inovacijskega središča za koloidno biologijo in biologijo površin, ki deluje znotraj odseka.

Januarja 2023 je odsek JSI/O-2 predložil štiri nove vloge za vpis sposobnosti kalibracije in merjenja (CMCs) v pregled EURAMET-u v kategoriji 5: Voda, podkategorija 5.1. Sveža voda. Te CMC-ji za Cd, Ni, Pb in Se se nanašajo na matrice rečne vode in pitne vode ter so bile podprte z uspešno udeležbo v študiji EURAMET.QM-S11 Elementi v rečni vodi. Po temeljitem pregledu so bili CMC-ji objavljeni v BIPM KCDB septembra 2023. Ta korak je povečal skupno število CMC-jev odseka, kar je pomemben dosežek.

vzorcev izdihanega zraka. Prenesli in optimizirali smo že uveljavljeno metodologijo za ekstrakcijo hlapnih organskih spojin za analizo izdihanega zraka. Za pridobivanje profilov HOS različnih materialov, ki se uporabljajo za zajemanje izdihanega zraka, uporabljamo mikroekstrakcijo v trdni fazi v prostoru (HS-SPME) skupaj s plinsko kromatografijo in masno spektrometrijo (GC-MS).

Razvili smo novo metodo za analizo stabilnih izotopov ogljika v prepovedanih drogah, ki omogoča sledenje njihovega izvora. Študija kaže, da je analiza stabilnih izotopov ogljika lahko uporabna za sledenje izvorom prepovedanih drog, kot je morfij, izoliran iz odpadne vode.

Meroslovje

Meroslovje na področju tradicionalne analize stabilnih izotopov lahkih elementov zajema različne aktivnosti: i) sodelovanje v medlaboratorijskih primerjavah na najvišji meroslovni ravni. Leta 2023 je bilo izdelano končno poročilo o CCQM-204: *Comparison on CO₂ isotope ratios in pure CO₂*, v katerem so podana priporočila za spodbujanje bolj usklajenih merilnih praks in doseganje večje doslednosti v prihodnjih primerjalnih testih; ii) v okviru projekta STELLAR smo izvedli analize na pripravljenih sintetičnih izotopskih mešanicah in določili razmerja vsebnosti izotopov $n(^{13}\text{C})/n(^{12}\text{C})$ na vzorcih z znanimi ali certificiranimi vrednostmi $\delta^{13}\text{C}$, da bi omogočili sledenje meritvam stabilnih izotopov, izraženih z delta vrednostmi do enot SI; iii) proučevali smo izotopsko stabilnost 43 izbranih hlapnih organskih spojin, ki zajemajo različne funkcionalne skupine. Prednost smo dali spojinam, ki jih pogosto najdemo v aromatičnih profilih sadja, tartufov in rib. Naš glavni cilj je bil opredeliti hlapne organske spojine z večjim potencialom za uporabo kot laboratorijske referenčne materiale; iv) v sodelovanju z Univerzo v Indiani, Geološkim zavodom ZDA (USGS), Caltechom, Fondazione Edmund Mach (FEM), Helmholtzevim centrom za okoljske raziskave (UFZ) in Atmospheric Sciences smo začeli razvijati deset čistih tekočih hlapnih organskih spojin (HOS), ki bodo služile kot referenčni materiali za stabilne izotope lahkih elementov.

Odsek je dejavno vključen tudi v evropske mreže, povezane z meroslovjem, kot so METROFOOD-RI, kjer JSI deluje kot koordinator slovenskega vozlišča (METROFOOD-SI), in Evropska (EURAMET) meroslovna mreža za varnost in trajnost hrane (EMN-FOOD) ter monitoring onesnaženja (POLMO – European Metrology Network for Pollution Monitoring).

V okviru projektov GMOS-Train in SI-Hg smo nadaljevali delo na področju meroslovja meritev atmosferskih Hg vrst. Skupaj s sodelavci z Državne univerze Utah smo ovrednotili prepustne cevi za plinasto oksidirano živo srebro (Hg^{II}) in plinasto elementarno živo srebro (Hg^0). Učinkovitost teh prepustnih cevi smo primerjali z zmogljivostjo našega na novo razvitega kalibracijskega sistema, ki temelji na netermični plazemski oksidaciji elementarnega živega srebra v oksidirane vrste Hg v prisotnosti specifičnih reakcijskih plinov (kisika, klora, broma). Ta kalibracijski pristop smo potrdili z uporabo NIST SRM 3133, s čimer je postal prvi kalibracijski postopek, ki je sledljiv po SI, za vrste Hg^{II} pri koncentracijah v okolju. V okviru projekta SI-Hg smo primerjali več kalibracijskih metod za plinasto oksidirano in plinasto elementarno živo srebro v atmosferi, vključno z našo kalibracijsko metodo za plinasto oksidirano živo srebro, ki temelji na oksidaciji s hladno plazmo. Preizkusili in primerjali smo tudi in situ meritve atmosferskih frakcij živega srebra z uporabo štirih pogosto uporabljenih komercialnih instrumentov za speciacijo Hg.

V okviru EPM projekta MetroPOEM smo se posvetili meroslovju meritev izotopskega razmerja Cd v morski vodi. Preizkusili smo zmogljivosti različnih sistemov ICP-MS (ICP-QMS, ICP-MS/MS in MC-ICP-MS) za točne in natančne meritve izotopskih razmerij ter ovrednotili njihove prispevke k merilni negotovosti.

V okviru dela nosilca nacionalnega etalona za določanje elementov v sledovih v organskih in anorganskih materialih smo sodelovali v medlaboratorijskih primerjalnih shemah SIM.QM-S12 in APMP.QM-P41 Elementi v sledovih v naravni vodi, APMP.QM-S19 in P40 Strupeni elementi v morskih sadežih, CCQM-K158 Elementi in anorganski arzen v riževi moki ter CCQM-K160 Elementi iz Pt skupine v avtomobilskem katalizatorju.

Nanomateriali in biosenzorji

V sodelovanju s Kemijskim inštitutom v Ljubljani in Hebrew univerzo iz Jeruzalema smo proučevali odlaganje, testiranje in antioksidacijske lastnosti ultra tankih (1–3 nm) mono-, di- in tri plasti hibridnih organsko-anorganskih poliedrskih oligomernih silseskvioksanov (POSS) na Inconelu 617. Predvidevamo, da bodo imeli takšni premazi pomemben potencial kot temeljni premaz za spektralno selektivne absorberske prevleke za tehnologijo hibridnih absorberjev koncentriranja sončne energije (CSP). Proizvodnja, sinteza, karakterizacija, povečevanje in lastnosti 2D nanomaterialov so bili proučeni tudi v okviru različnih mednarodnih in nacionalnih projektov. Ugotovitve so bile objavljene v reviji *Nanoselect*.

Sodelovali smo tudi z oddelkom za elektronsko keramiko (K5), da bi razvili tanke in debele filme nanomaterialov z uporabo metod sitotiskanja na dveh različnih substratih (Al_2O_3 in LTCC) in jih uporabili kot biosenzorske platforme

na osnovi pretvornikov za odkrivanje različnih ciljnih analitov. Pri delu na elektrokemičnih biosenzorjih za SARS-CoV-2 in raziskave raka smo sodelovali z Nacionalnim inštitutom za biologijo. V okviru tega dela smo pripravili peptide in biokonjugate za ciljanje rakavih celic in razvili strategije za imobilizacijo biomolekul na nanomaterialih.

V okviru projekta GMOS-Train smo začeli razvijati biosenzor za detekcijo Hg, ki temelji na specifičnih bakterijskih proteinih, da ga bomo lahko testirali v različnih vzorcih vode.

V sodelovanju s Fakulteto za zdravstvene vede Univerze v Ljubljani smo bili vključeni v raziskave antibakterijskih in protivirusnih lastnosti tekstilnih površin, prevlečenih z oblogami iz nanomaterialov. V okviru tega smo ocenili antibakterijske lastnosti različnih tekstilnih materialov, namenjenih protetičnim vložkom, prevlečenih z nanodelci CuO. Najobetavnejše rezultate je pokazal material x-dry zaradi počasnega sproščanja Cu, dolgotrajnega antibakterijskega delovanja ter njegove združljivosti s človeškimi celicami. Poleg tega smo sodelovali v študiji, katere namen je bil razviti novo večplastno prevleko s poli(alilamin hidrokloridom) (PAH) in imobiliziranimi nanodelci ZnO za izdelavo učinkovitih antibakterijskih in biokompatibilnih tkanin iz bombaža, poliestra in najlona. Rezultati so pokazali uspešno oblikovanje prevleke PAH/ZnO s popolno imobilizacijo ZnO nanodelcev na prevlečenem tekstilu, kar preprečuje sproščanje nanodelcev s površine tekstila. Bombaž je zaradi boljše oprijemljivosti ZnO nanodelcev pokazal nekoliko večjo antibakterijsko učinkovitost kot najlon in poliestar.

Biogeokemija in klimatske spremembe

Ocenili smo potencial stabilnih izotopov magnezija (Mg) in stroncija (Sr) kot novih hidrogeokemičnih sledilcev v kraškem vodonosniku Ljubljanske. Analizirali smo njihovo prisotnost v vodi, kamninah in tleh ter izvedli laboratorijske poskuse izluževanja tal in kamnin. Raziskave so pokazale, da imajo tla še posebej v deževnih obdobjih pomemben vpliv na bilanco Mg^{2+} v vodonosniku in lahko bistveno vplivajo na razmerje med Mg/Ca, kar lahko pomembno vpliva na interpretacijo podzemne vode na osnovi tradicionalnih geokemičnih sledil. V sodelovanju s kolegi z Univerze v Zaragozi (Španija) smo proučevali vpliv globalnega segrevanja na celinske ponore CO₂ v rečnih sistemih na Iberskem polotoku. Sodelovali smo tudi z Mendelovo univerzo v Brnu (Češka republika) in Univerzo v Arizoni (Tucson, ZDA) ter raziskovali snovne tokove ogljika in preperevanje vodonosnika na češkem silikatnem zlivnem območju.

V okviru projekta UPTAKE smo proučevali privzem in porazdelitev s kovino dopirane polistirenske nanoplastike ter njen vpliv na privzem in porazdelitev elementov v hidroponično gojenih rastlinah paradižnika. Rezultati so pokazali, da so korenine paradižnika vsebovale najvišje koncentracije izbranih elementov in nanoplastike, medtem ko so bile najnižje koncentracije zabeležene v plodovih. Sodelovali smo tudi pri raziskavah v okviru projekta Danube Hazard m3c, kjer smo proučevali vpliv trdote vode na koncentracije potencialno toksičnih elementov v rečnih vodah z visoko trdoto.

V projektu Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji smo nadaljevali paleoklimatsko študijo v majhni Jami v Dovčku v jugovzhodni Sloveniji. Na podlagi izotopskih zapisov $\delta^{18}O$ v stalagmitih smo določili temperaturna nihanja v jami v različnih obdobjih.

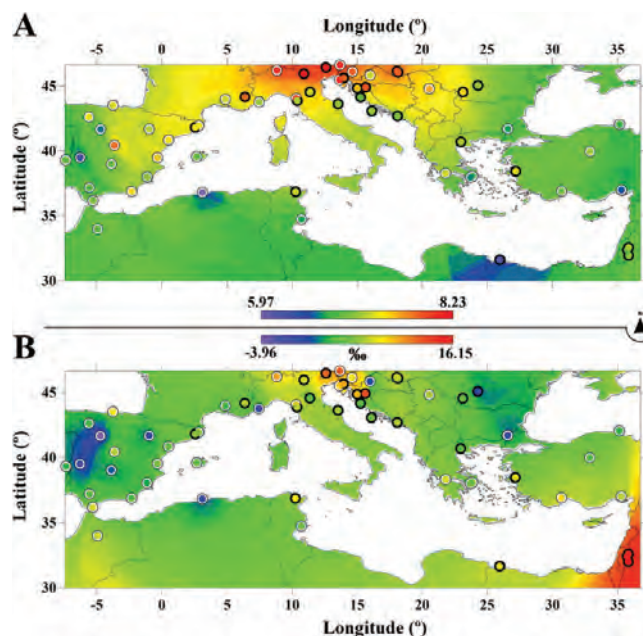
S sodelovanjem s Premogovnikom Velenje, d. o. o., smo raziskovali mehanizme razplinjanja in izvor plina, ujetega v lignitnih plasteh na aktivnih odkopnih čelih v velenjskem bazenu.

Na področju arheologije smo s pomočjo stabilnih izotopov C in N proučevali vzroke za spremembe holocenskega okolja in prilagajanje človeka na te spremembe. Naša raziskava je razkrila hitro spreminjanje okolja v JV Alpah in vpliv na formacijo jezer ter prehranjevalne vzorce jamskih medvedov. Ta nova metoda analize stabilnih izotopov ogljika in dušika omogoča vpogled v preteklost in razumevanje paleobiologije jamskih medvedov.

Poleg tega smo sodelovali pri umetniškem projektu One Tree ID v sodelovanju s podjetjem KONTEJNER iz Zagreba na Hrvaškem, kjer smo identificirali hlapne organske spojine v drevesu Ginkgo biloba za ustvarjanje parfuma.

Vodni krog

Na podlagi podatkov o izotopski sestavi padavin ($\delta^{18}O$ in δ^2H) v Sredozemlju smo razvili model, ki lahko reproducira izotopsko sestavo padavin na območjih, kjer so podatki redki ali pa jih ni na voljo. Lokalne padavinske premice (LWML) so bile izračunane s pomočjo linearne regresije za postaje z najmanj 4-letnimi nizi med letoma 2000 in 2015, nato



Slika 1: Interpolirana karta prostorskega spreminjanja naklona (A) in preseka (B) lokalnih padavinskih premic (LWML) na območju Sredozemlja, izdelana z RF algoritmom strojnega učenja. Barvni krogi z belim in črnim obrisom označujejo LWML na različnih postajah, kjer se izvaja spremljanje izotopske sestave padavin, in pripadajo različnim kakovostnim razredom glede na število podatkov, zabeleženih na vsaki postaji v obdobju 2000–2015 (Hatvani et al., 2023).

pa interpolirane po regiji s statističnimi metodami in strojnim učenjem. Razlike v interpoliranih LMWL poudarjajo pomen uporabe prostorsko zveznih ocen premic v primerjavi z združevanjem podatkov z oddaljenih postaj. Če so podatki nedostopni, priporočamo uporabo vrednosti, predstavljeno v interpolirani karti.

Na reki Idrijci smo nadaljevali vzorčenje in meritve različnih vrst in frakcij Hg ter različnih parametrov vode. Izvedli smo celodnevno vzorčenje na reki Idrijci, da bi ocenili dnevne cikle speciacije Hg in njihov vpliv na strukturo bakterijske skupnosti. Opravljeno je bilo tudi pilotno vzorčenje v Tržaškem zalivu, ki bo predmet nadaljnjih raziskav. Vodni izpusti iz Idrijskega še vedno vnašajo znatne količine Hg v Tržaški zaliv, pri čemer so razmerja vrst Hg odvisna od lokacije, okoljskih razmer in biogeokemičnih procesov v rekah in zalivu. Delo poteka v okviru projekta *Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih – IsoCont*.

V sodelovanju s Paleontološkim inštitutom Ivana Rakovca ZRC SAZU smo v sedimentih na območju, kjer so bili najdeni ostanki jamskega medveda, določili izotopsko sestavo Sr. Ti podatki bodo pomagali razumeti spremembe izotopske sestave Sr v zobeh jamskega medveda.

Poleti 2023 so hude poplave v Mežiški dolini povzročile premik onesnaženih sedimentov in zemljin. Preverili smo koncentracije potencialno strupenih elementov (Pb, Zn, Cd, As ...) v desetih vzorcih naplavin ter ugotovili, da vsebnost Pb in Zn presega mejne vrednosti za tla. Z uporabo izotopske sestave Pb in Sr smo potrdili, da je Pb prisoten v naplavinah naravnega izvora. Poplave so onesnažen sediment premaknile vse do Dravograda in naprej po reki Dravi.

Raziskave zraka

V projektu ARIS CAEmissionMonitor uporabljamo časovne vrste koncentracije radona v zunanjem zraku za oceno višine mešanja ozračja, kar omogoča določanje hitrosti primarnih emisij in sekundarne produkcije ogljikovih aerosolnih delcev. Meritve radona izvajamo vsako uro na meteorološki postaji ARSO Ljubljana Bežigrad, pri čemer je projekt del večjega mednarodnega projekta *Sarajevo Aerosol Experiment: Composition, Sources and Health Effects of Atmospheric Aerosol* (SAAERO, EU H2020).

V slovensko-japonskem projektu *Vloga okoljskih parametrov za strukturo mikrobnih združb v stavbah v Sloveniji in na Japonskem* proučujemo vpliv značilnosti stavb in načina prezračevanja na izmenjavo notranjega zraka z zunanjim. Sodelujoči izvedemo raziskave v izbranih izobraževalnih ustanovah v Sloveniji in na Japonskem ter kot indikator prezračevanja uporabljamo radon in ogljikov dioksid.

Zaključili smo projekt *SRNSFG Radon Mapping and Radon Risk Assessment in Georgia*, kjer smo raziskovali ravni radona v zraku v stavbah, v vodi in v talnem zraku na izbranih območjih v Gruziji.

V okviru projekta GMOS-Train smo izvajali različne aktivnosti na področju raziskav zraka. Organizirali smo delavnico v RENO, Nevadi, ZDA, kjer smo obravnavali aktualne izzive in nove pristope pri monitoringu in analizi zraka, s poudarkom na živem srebru. Izvajali smo tudi raziskave, ki so vključevale oceno kakovosti zraka, spremljanje emisij živega srebra ter identifikacijo virov onesnaževanja zraka z živim srebrom.

Poleg tega smo sodelovali pri raziskavi koncentracij in izotopske sestave CO₂ v zraku na Hrvaškem, kjer smo določili vpliv morskega in biogenega CO₂ ter delež CO₂ iz fosilnih goriv v zraku.

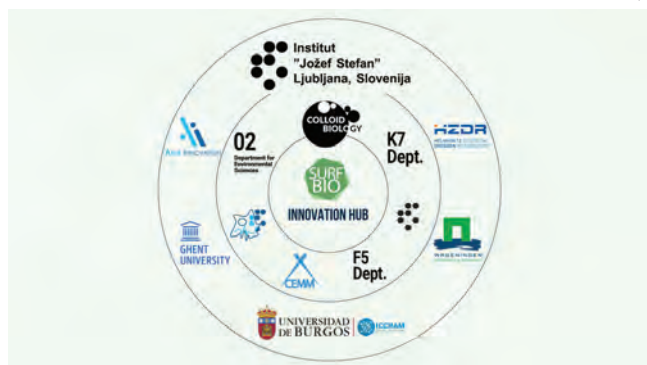
Koloidna biologija

V okviru projekta SURFBIO (Twinning Funding Scheme) smo s konzorcijem raziskovalnih partnerjev, vključno z IJS, izvedli več aktivnosti usposabljanja za strokovno znanje na področju površin materialov, bakterijskih združb in koloidne biologije. Začeli smo graditi raziskovalno inovacijsko stičišče, ki nam bo pomagalo pridobiti nova znanstvena sodelovanja in industrijske partnerje.

V okviru projekta GREENER smo uporabljali umetno zgrajene večcelične strukture, da bi transformirali kompleksne polimerne spojine, kot je lignin, v spojine z dodano vrednostjo. Inovacija je bila opisana v novo predloženi patentni prijavi.

Projekt BIOSYSMO bo združil moči z našimi partnerji za modeliranje različnih presnovnih poti in rekonstrukcijo z našim pristopom združevanja bakterij, da bi oblikovali umetne konzorcije, ki bodo sposobni izvajati modelirane procese biotransformacije.

Naš pristop za gradnjo umetnih bakterijskih konzorcijev smo implementirali v več drugih tekočih projektih, ki jih financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS. V mednarodnem projektu BE MERMAiD smo pokazali, da umetno izgrajeni celični agregati tvorijo pomembne niše za metilacijo živega srebra.



Slika 2: Inovacijsko središče SurfBio: V okviru twinning projekta SurfBio, ki ga je financirala Evropska komisija, je IJS ustanovil novo inovacijsko vozlišče evropskih raziskovalnih institucij, ki izvajajo temeljne in aplikativne raziskave na področju koloidne biologije, da bi zagotovili rešitve za bioremediacijo, agronomijo, biotehnologijo in medicino.

V mednarodnem projektu CROSSING smo analizirali interakcije med bakterijami in nanodelci ter bakterijami in kovinskimi površinami z različnimi fizikalnimi lastnostmi.

Za promocijo znanstvenega področja koloidne biologije smo uspešno lansirali našo internetno stran in začeli diseminirati znanstvene vsebine na socialnih omrežjih.

V sodelovanju z Nacionalnim inštitutom za biologijo smo raziskali mikrobo združbo v biofilmu na stenah reaktorske posode na reaktorju TRIGA Instituta "Jožef Stefan", ki je lahko dobro modelno okolje za analizo odziva mikrobnih združb na izredne dogodke, povezane z radioaktivnim onesnaženjem.

Okolje, hrana in zdravje

Humani biomonitoring

V okviru MerFish projekta je potekala 3-mesečna izmenjava doktorske študentke Neže Palir na Univerzi Sao Paulo (USP), Ribeirao Preto v Braziliji. Prvi mesec je bil namenjen vzorčenju v Amazoniji, kjer je bilo zajetih 1216 prostovoljcev, naslednja dva meseca pa je študentka delala v laboratoriju univerze. Med rezultati je bila objava *Risk characterisation of human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in vulnerable groups*.

V nadaljevanju projekta smo proučevali interakcije med geni in okoljem. S statističnimi modeli smo raziskali povezave med genotipi, materinim spolom zarodka, številom nosečnosti ter koncentracijami svinca v materini in popkovni krvi. Ugotovili smo, da obstaja povezava med materinim APOE $\epsilon 2$ alelom in večjimi vsebnostmi Pb v materini in popkovni krvi, ter med APOE $\epsilon 4$ alelom in nižjimi vsebnostmi Pb, še posebej pri materah z ženskimi zarodki.

V povezavi z genetskimi interakcijami smo proučili deset genskih polimorfizmov za encim delta-aminolevulin kislinna dehidrataza (ALAD) in njihovo povezavo s koncentracijami svinca v krvi in urinu pri odraslih moških. Opazili smo nekaj povezav med posameznimi polimorfizmi in koncentracijami Pb v krvi in urinu.

V okviru nacionalnega HBM programa (HBM2018-24) smo nadaljevali z naborom in vzorčenjem otrok in najstnikov za oceno izpostavljenosti kemikalijam iz okolja. Uspešno smo zaključili vzorčenje otrok in najstnikov v Zasavju ter začeli z naborom novih preiskovancev na območjih Idrije, Posočja in Kopra.

Zaključili smo tudi z naborom porodnic ter zbiranjem bioloških vzorcev med nosečnostjo in po porodu žensk ter njihovih novorojenčkov z območja Celja. V vzorcih matrine krvi, plazme, urina in lasih smo določili elemente v sledovih.

V sodelovanju z Univerzitetnim kliničnim centrom (UKCL) v Ljubljani smo v projektu ARRS *Vpliv endokrinih motilcev na porod, neplodnost in raka jajčnika v Sloveniji* dokončali analizo kemikalij v zbranem biološkem materialu porodnic.

V sklopu projekta PARC (Partnership for Assessment of Risk from Chemicals) smo sodelovali pri pripravi materialov za izvedbo poenotenja študij na evropski ravni in poenotili vprašalnik slovenskega nacionalnega HBM programa. V internem projektu smo nadaljevali z obdelavo podatkov HBM4EU projekta in vzpostavljamo trajnostno podatkovno infrastrukturo v sodelovanju z Odsekom za tehnologije znanja (E8).

Odsek je tudi aktivno vključen v EIRENE PPP, katerega namen je pripraviti konsolidirano evropsko raziskovalno infrastrukturo, ki omogoča razvoj naprednih tehnologij in dopolnilnih storitev pri karakterizaciji kompleksnih izpostavljenosti okolja in njihovega vpliva na evropsko prebivalstvo.

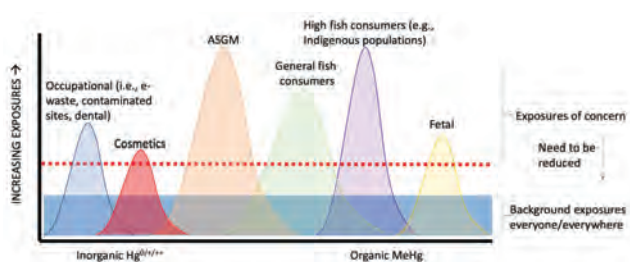
Participativnost in občanska znanost

Projekt URBANOME se osredotoča na vključevanje zdravja in kakovosti življenja v urbanih okoljih v mestne politike in dejavnosti državljanov. Z Urban Living Lab smo proučevali izpostavljenost mestnim stresorjem med kolesarjenjem in skupaj s številnimi deležniki razvijali ukrepe za zmanjšanje te izpostavljenosti.

V okviru projekta INQUIRE poteka vzorčenje kakovosti zraka v zaprtih prostorih v 30 gospodinjstvih v Celju. Cilj je ugotoviti različne kemične in biološke dejavnike ter strategije za spodbujanje zdravih domov.

Projekt RadoNorm-SLO se osredotoča na merjenje koncentracije radona v Beli krajini, kjer je to tveganje povečano. Prostovoljci so izvajali meritve in spremljali kakovost zraka v svojih domovih, kar nam pomaga razumeti vpliv geofizikalnih parametrov na koncentracijo radona.

Naša študija o biomarkerjih izpostavljenosti slovenskih otrok je prejela nagrado Excellent in Science 2023. Objavljena je bila v *Environmental Pollution* in predstavljena na Nacionalnem dnevu ARIS 2023, prikazuje pa inovativni visokozmogljivi delovni tok za nenamensko analizo in razkriva izpostavljenost otrok različnim kemikalijam.



Slika 3: V okviru obveznosti, ki izhajajo iz Minamatske konvencije, smo povzeli podatke o razvitem razumevanju tveganj za zdravje ljudi zaradi živega srebra in jih objavili v članku, dostopnem na povezavi <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01831-6>. Iz tega izhaja, da bo odsek še naprej intenzivno sodeloval v raziskavah, predvsem tam, kjer je tveganje največje, kot je prikazano tudi na zgornjem grafu.

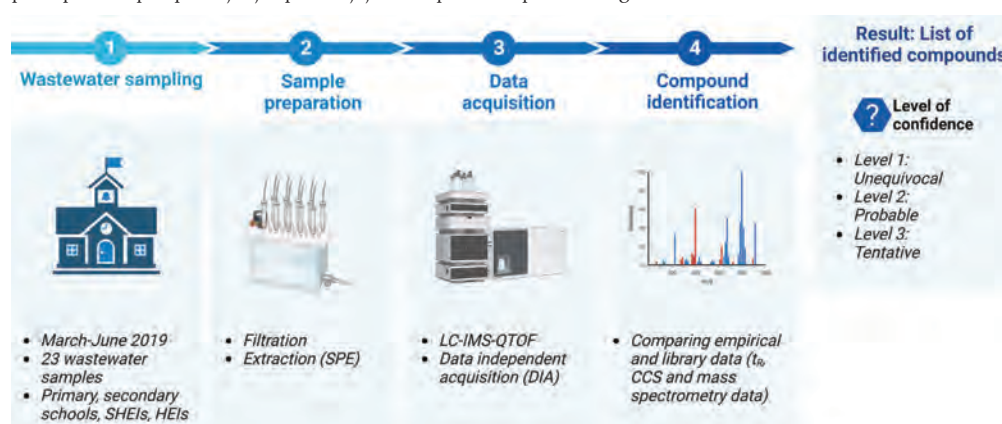
V raziskavi po izpustu kromovega trioksida iz obrata Unior Zreče smo proučevali vplive na zdravje ljudi. Ugotovili smo minimalno izpostavljenost delavcev in prebivalcev ter zmanjšanje nevarnosti za zdravje ljudi, živali in okolje.

Epidemiologija odpadnih vod

Epidemiologija odpadnih vod (WBE) omogoča pridobivanje objektivnih podatkov o uporabi psihoaktivnih drog v populaciji. Sodelovali smo v letnem spremljanju uporabe prepovedanih drog v sedmih slovenskih mestih znotraj mreže SCORE. Najvišje vsebnosti biomarkerjev smo opazili v Ljubljani, Velenju in Kopru. Analizirali smo tudi trende uporabe antidepresivov in ugotovili, da se je njihova uporaba povečala, brez jasnih prostorskih vzorcev, povezanih s pandemijo covid-19.

Z razvojem analiznih metod smo pridobili retrospektivne trende uporabe antidepresivov v Sloveniji. Naša metoda, ki temelji na ekstrakciji na trdno fazo, omogoča hkratno določanje več spojin z nizko mejo kvantifikacije. Poleg tega smo proučili prisotnost novih psihoaktivnih snovi v odpadnih vodah izobraževalnih ustanov, ugotavljajoč, da so najpogostejši sintetični stimulansi, 3-MMC, efedrin in etkinon zlasti prisotni v glavnem mestu Slovenije.

V sodelovanju z raziskovalci iz Italije in Avstralije smo izvedli tri mednarodne študije o novih psihoaktivnih snoveh v odpadnih vodah. Potrdili smo prisotnost številnih novih psihoaktivnih snovi, kar poudarja pomembnost pristopa WBE pri spremljanju spreminjajočih se profilov uporabe drog.



Slika 4: Postopek pregleda odpadnih vod izobraževalnih ustanov v Sloveniji na prisotnost novih psihoaktivnih snovi.

Druge študije

Oceno ekotoksičnosti desetih ostankov dovoljenih in nedovoljenih drog smo izvedli s programsko opremo ECOSAR in testom zaviranja rasti alg. Kljub napovedanim učinkom na vodne rastline pri izpostavitvi algam nismo opazili bistvene inhibicije rasti.

V okviru projekta SECURE smo razvijali strategije ločevanja radionuklidov za proizvodnjo radiofarmakov. Začetni rezultati so obetavni, saj smo dosegli odlične izkoristke ločevanja.

V sodelovanju z Onkološkim inštitutom Ljubljana razvijamo nove analizne metode za raziskave neravnotežja kovin v sledovih kot biomarkerja za rak biliarnega trakta. S klinično študijo želimo določiti serumske ravni Cu, Zn in Fe ter njihovo medsebojno razmerje.

Sodelujemo tudi z raziskovalci iz Francije in Kanade pri raziskavi varne dolgotrajne električne stimulacije nevronov. Uporaba prevodnega polimera PEDOT:PSS se je izkazala za obetaven pristop za podaljšanje življenjske dobe elektrod.

V prejšnji študiji smo razvili in optimizirali metodologijo za določanje profila hlapnih organskih spojin v sebumu kot neinvazivnega biomarkerja za Parkinsonovo bolezen. Cilj je uporabiti te profile za izboljšanje diagnostike PD.

Raziskave hrane – ERA Chair ISO-FOOD

Raziskave stabilnih izotopov lahkih elementov so pomembno prispevale k preverjanju pristnosti, kakovosti in trajnosti živil. Ključni poudarek je bil na vzpostavitvi sistema sledljivosti, vključno z optimizacijo metod, vzpostavitvijo podatkovne zbirke stabilnih izotopov za pristne vzorce živil – IsoFoodTrack (www.isofoodtrack.ijs.si) – in razvojem

V sodelovanju z Mednarodno podiplomsko šolo Instituta Jožef Stefan smo organizirali mednarodno konferenco 2nd ISO-FOOD Symposium: From food sources to health.

statističnih modelov za preverjanje pravilnega označevanja po državi porekla ali vrsti proizvodnje. Ta sistem je bil uporabljen in preizkušen za izbrana živila v okviru različnih EU projektov, vključno z ribami (FishEUTrust), začimbami, kot so paprika, cimet in žafran (PROMEDLIFE), ter svinjskim mesom. Poleg tega so zbrani podatki vključeni v e-komponente FoodTraNet, METROFOOD-RI in FNS-Cloud projekte za vzpostavitev sistema

sledljivosti na evropski ravni. Nadalje so potekale raziskave o kakovosti suhomesnatega pršuta, ki se izvajajo v sodelovanju s podjetjem KRAS, d. o. o., kjer smo proučevali različne metode konzerviranja in vpliv različnih pogojev skladiščenja na kakovost izdelkov.

Glede na naraščajočo uporabo prečiščene odpadne vode v kmetijstvu smo proučili tveganja za vnos škodljivih kemikalij v pridelke. Rezultati so pokazali majhno tveganje za zdravje ljudi, vendar bodo pomagali pri ponovnih ocenah tveganja. Preverjamo tudi kakovost paradižnikov z različnimi metodami, rezultati so v obdelavi.

Prilagajanje kmetijskih praks podnebnim spremembam je ključno za ohranjanje naravnih virov in omejevanje izgub pridelka. V študiji, ki je proučevala privzemanje dušika v sušnih pogojih pri dveh sortah čilija, smo ugotovili, da omejitev namakanja in gnojenja ne vpliva negativno na pridelke in kakovost plodov, kar omogoča pomembne prihranke v vodi in gnojilih.

Projekt THEROS se osredotoča na modernizacijo preverjanja ekoloških in geografsko označenih prehrabrenih izdelkov ter preprečevanje ponaredkov. Uporablja tehnologijo, kot so opazovanje Zemlje, fotonika, internet stvari, avtentičnost DNK, blockchain in umetna inteligenca za zagotavljanje sledljivosti in nadzora kakovosti. Predlaga celovit sistem sledljivosti z blockchainom in dinamični digitalni potni list izdelka za večjo varnost in preglednost podatkov. Projekt bo preizkušen s pilotnimi demonstracijami v več državah, kjer bodo sodelovali vsi relevantni deležniki in obravnavani različni prehrabreni izdelki.

Glede na rast prebivalstva in podnebne spremembe je uporaba prečiščene odpadne vode za namakanje vedno bolj realistična alternativa. Pomembno je razumeti tveganja, povezana z vnosom škodljivih kemikalij v pridelke. V tej študiji smo proučili vnos Contaminants of Emerging Concern (CEC) v plodove paradižnika, gojenega v zemlji in hidroponiki. Rezultati kažejo prisotnost BPS, 2,4-BPF in naproksena v paradižniku ter vpliv CEC in rastnih pogojev na vsebnost elementov. Ocenjena prehranska izpostavljenost CEC je nizka in ne pomeni tveganja za zdravje ljudi v primerjavi s toksikološkimi referenčnimi vrednostmi. Rezultati bodo pomagali pri ocenah tveganja v prihodnosti ob nadaljnjem razvoju znanja o strupenih lastnostih CEC. Prav tako smo proučili kakovost paradižnikov glede na različne parametre, a rezultati so trenutno še v obdelavi.



Slika 5: Privzem kontaminantov v paradižnike, gojene v lizimetrih (tla) in v hidroponu (brez tal).

Okoljske tehnologije

V sodelovanju z Odsekom za nanostrukturne materiale smo raziskali elektrokemijske poti za recikliranje trajnih magnetov na osnovi redkih zemelj (Sm-Co). Razvili smo okolju prijazen pristop za recikliranje Nd-Fe-B magnetov, ki vključuje selektivno kemijsko izluževanje faze z uporabo razredčene citronske in dušikove kisline. Ugotovili smo, da je bila 1 M citronska kislina zelo selektivna pri izluževanju z Nd-bogate faze, medtem ko je izpostavljenost dušikovi kislini povzročila strukturne poškodbe.

Zaključili smo raziskavo o interakcijah cement-organske spojine-radionuklidi za varno odlaganje nizko- in sredneradioaktivnih odpadkov v okviru projekta EURAD H2020. Proučevali smo sorpcijo PEG na cementu ter vpliv razgradnje superplastifikatorja PCE na mobilnost radionuklidov v cementnem okolju.

Razvili, optimizirali in validirali smo analizne metode za določanje ostankov drog v odpadnih in površinskih vodah. Ugotovili smo, da so aktivno blato in membranski bioreaktorji učinkoviti pri odstranjevanju ostankov drog, medtem ko je reaktor MBBR manj učinkovit. Identificirali smo tudi tveganje za okolje zaradi ostankov drog v površinskih vodah.

Proučili smo pojav in izvor ostankov drog v vodonosniku Ljubljanskega polja ter ugotovili, da so bili bolj razširjeni dolvodno od urbanih območij.

Proučevali smo tudi napredno obdelavo odpadnih vod s hladno plazmo pri atmosferskem tlaku (CAP) ter nadaljevali z raziskavami biološke razgradnje tritija in čiščenjem odpadnih vod s hladno plazmo.

Sodelovali smo tudi pri razvoju sistema za čiščenje organskih onesnaževal pri izdelavi papirja in pripravili nove raziskovalne projekte za biotransformacijo odpadkov oljnih tropin ter proizvodnjo novih vrst biognojil.

V sodelovanju z Zavodom za gradbeništvo smo proučevali okoljske lastnosti geotehničnih kompozitov za revitalizacijo rudarskih območij, pri čemer smo ugotovili, da so nekateri kompoziti primerni za gradnjo kot alternativa neobdelanim materialom.

Upravljanje okolja, ocena vplivov na okolje in ocena tveganja

V okviru projekta SmartMOVE smo analizirali okoljske obremenitve zaradi uvedbe dinamičnih prevozov kot trajnostne alternative avtomobilski mobilnosti. Proučevali smo prevoze zaposlenih od doma do delovnega mesta in nazaj, izvajane s kombiji podjetja GoOpti, d. o. o., na relacijah Kamnik–Mengeš–Domžale–območje BTC Ljubljana–UKC Ljubljana ter Kranj–Šiška (Verovškova ulica)–območje BTC Ljubljana–UKC Ljubljana. Uporabili smo poslovne

podatke GoOpti in rezultate anket uporabnikov za analizo razlik v času potovanja ter oceno zmanjšanja izpustov CO₂, NO_x in trdnih delcev.

V okviru istega projekta smo razvili metodo za podeljevanje mobilnostnega certifikata podjetjem, ki se aktivno zavzemajo za trajnostno mobilnost. Pripravili smo kriterije in odločitveni model za pridobitev certifikata ter večkrat prilagajali vprašalnik, da bi zagotovili, da certifikat ne le preverja, temveč tudi spodbuja izboljšave mobilnosti v podjetjih.

V projektu STAGES smo analizirali potencial prenove gledališke stavbe v smeri trajnostnega razvoja. Delo je zajemalo načrt za evalvacijo in analizo stanja ter pokazalo potencial za izboljšave na področju infrastrukture, organizacijskih ukrepov in mobilnosti.

Za podjetje UNIOR, d. d., smo izvedli preiskavo izrednega dogodka izpusta tekočine iz galvanske kopeli za kromiranje. Sistematično smo iskali vzroke za dogodek, analizirali komunikacijo vodstva z deležniki in izdelali priporočila za izboljšave sistema vodenja.

V projektu PARC smo nadaljevali z ocenjevanjem obstoječih zakonodajnih okvirov in procesov za zmanjševanje izpostavljenosti na delovnem mestu, s poudarkom na pregledu literature in izvedbi ankete o implementaciji zakonodaje v praksi. Naš cilj je bil identificirati vrzeli v znanju in predlagati izboljšave zakonodaje.

Nadzorne meritve v okolju

V sodelovanju z okoljsko agencijo Hrvaške vode smo nadaljevali meritve organokositrovih spojin in celokupnega živega srebra v morskih in rečnih vodah.

Za podjetje Novartis smo opravili številne ekspertne analize vsebnosti mikroelementov v zdravilnih učinkovinah.

Nadaljevali smo z rednimi meritvami izotopske sestave padavin v Sloveniji v okviru Slovenske mreže SLONIP (Slovenian Network of Isotopes in Precipitation) in dopolnili bazo podatkov z najnovejšimi vrednostmi (<https://slonip.ijs.si/>).

Izveden je bil monitoring naravnih radionuklidov na vplivnem območju nekdanjega rudnika urana na Žirovskem vrhu. Sodelovali smo tudi pri zunanjem monitoringu Nuklearne elektrarne Krško (NEK) z določanjem stroncija in tritija v okoljskih vzorcih ter tritija in radioaktivnega ogljika v plinskih izpustih iz NEK. Z analizami stroncija

in tritija smo sodelovali tudi pri monitoringu radioaktivnosti pitne vode v Sloveniji ter pri monitoringu življenjskega okolja v Sloveniji. Metode, ki se uporabljajo za določanje stroncija, tritija in radioaktivnega ogljika za namene monitoringa, so akreditirane pri slovenskem akreditacijskem organu (SA LP-090).

V letu 2023 smo za Agencijo RS za okolje opravili monitoring organokositrnih spojin (OTC) v slovenskem delu Severnega Jadrana. Rezultati so pokazali dobro okoljsko stanje morja glede OTC.

Izobraževanje

Odsek je tesno povezan s podiplomskim študijem na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana, kjer je večina habilitiranih sodelavcev ter kjer se izobražujejo magistranti in doktorandi.

V okviru projekta A-CINCH smo ustvarili virtualni laboratorij za radiokemijo, ki je bil uporabljen pri praktičnih usposabljanjih in poletni šoli za srednješolce.

V okviru ITN MSCA projekta GMOS-train smo izvedli usposabljanje na področju meroslovje, kar je bistveno izboljšalo kompetence mladih raziskovalcev v projektu in na odseku.

V okviru projekta TunTwin smo organizirali delavnico o analizi stabilnih izotopov v okoljskih in živilskih vzorcih, ki je udeležence seznanila z metodami merjenja in validacije.

V sodelovanju z Osnovno šolo Vodice smo izvedli krožek o občanski znanosti, kjer smo učence pripravili na vlogo občanskih znanstvenikov in jih naučili branja kartografskih podatkov.



Slika 6: Znanost za vse: Na dogodku Noč raziskovalcev je Skupina za koloidno biologijo pripravila več demonstracij laboratorijskih poskusov, da bi širši javnosti predstavila, kako potekajo znanstvene raziskave v laboratoriju. Pri mladih bodočih znanstvenikih radovednosti ne zmanjka.

Kot del projekta EU MSCA ITN GMOS-Train je bila objavljena pomembna študija v reviji *Nature Geosciences*. Nakazuje, da se večina živega s hidrotermalnih izvirov razredči v morski vodi, kar kaže na majhen globalni hidrotermalni pretok v primerjavi z antropogenimi emisijami.

Infrastrukturni Center za masno spektrometrijo (CMS)

Na Odseku za znanosti o okolju se aktivno vključujemo v različne projekte, raziskave in meritve s pomočjo štirinajstih različnih masnih spektrometrov. Naša dejavnost vključuje analizo kemije, biokemije, farmacevtske in sintezne kemije, medicinske vede, kontrolo hrane in varovanje okolja. Posebej poudarjamo študije in analizne postopke v okviru raziskovalnih programov, ki obravnavajo onesnaževala v okolju, kontrolo hrane ter vpliv različnih

snovi na zdravje ljudi. Med našimi nalogami so speciacija kemijskih elementov, določanje velikostne porazdelitve nanodelcev, prostorska porazdelitev elementov v sledovih, toksičnost elementov v prehranskih izdelkih, geokemijski ciklusi, identifikacija bioloških molekul in zdravilnih učinkovin, kakovost in izvor živil na osnovi izotopskih meritev ter sledenje transporta in izvora onesnažil v okolju. Poleg tega izvajamo tudi nadzorne meritve okolja, ki prispevajo k zaščiti zdravja ljudi in varovanju okolja, vključno z vzorčenjem zraka, površinskih vod ter pitne vode.

V preteklem letu smo na Odseku za znanosti o okolju izvajali karakterizacijo spojin, identifikacijo spojin v kompleksnih vzorcih, razvoj in validacijo analiznih metod ter sodelovali v kliničnih raziskavah v sodelovanju s partnerji iz industrije, raziskovalnimi partnerji in odseki na IJS. Prav tako smo začeli z vpeljavo metod za natančno analizo v bioloških matriksih na novo inštaliranem visokoločljivostnem tandemskem masnem spektrometru Orbitrap Exploris™ 240. Naši dosežki vključujejo razvoj metod za določanje biomarkerjev izpostavljenosti v urinu ter določanje metabolitov ftalatov v materinem mleku. Poleg tega smo izvajali analize mikrobiološke razgradnje lignina in dizel olja ter ugotavljali uspešnost razgradnje pri vključevanju različnih sevov, pri čemer smo identificirali produkte biorazgradnje.

Infrastrukturni Center za meritve ionizirajočega sevanja (ICMIS)

Skupaj z Odsekom za fiziko nizkih in srednjih energij upravljamo Infrastrukturni center za meritve ionizirajočih sevanj, ki združuje infrastrukturne zmogljivosti obeh odsekov na področju meritev ionizirajočih sevanj in vključuje obsežen nabor raziskovalne opreme, posebnih prostorov in akreditiranih postopkov radiološke karakterizacije vzorcev iz okolja, industrijske predelave, proizvodnje gradbenih materialov, materialov iz kemijske in farmacevtske industrije ter materialov iz odlagališč in rudniške jalovine. Veliko infrastrukturno opremo sestavljajo spektrometrični sistemi za detekcijo žarkov gama, beta in alfa ter kompleksni sistemi za vzorčenje in pripravo vzorcev. ICMIS s svojimi zmogljivostmi deluje kot ključna nacionalna infrastruktura za detekcijo ionizirajočih sevanj v okolju in kot nacionalni standard za ionizirajoča sevanja v mednarodnem meroslovnem sistemu ter podpira številne javne raziskovalne organizacije, univerze in državne organe v Republiki Sloveniji. Najvišje merilne zmogljivosti ICMIS so vnesene v podatkovno zbirko ključnih primerjav (KCDB) Mednarodnega urada za uteži in mere (BIPM).

Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME)

V okviru Odseka za znanosti o okolju deluje tudi mobilni kemijski laboratorij Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (ELME), ki posreduje v sklopu enot Civilne zaščite in reševanja ob onesnaženjih okolja in ekoloških nesrečah z nevarnimi snovmi. Enota ELME je v letu 2023 sedemnajstkrat posredovala na terenu zaradi onesnaženja površinskih voda in tal, eksplozije v industrijskem objektu, gorenja odpadkov in drugih požarov ter zaradi obsežne poplave, ki je Slovenijo prizadela avgusta 2023. Poleg nujnih intervencij so pripadniki enote mobilnega kemijskega laboratorija ELME svojo usposobljenost preverjali na dveh rednih vajah ELME, na mednarodni vaji za delovanje ob nesrečah z nevarnimi snovmi na morju ter izpopolnjevali svoje znanje in analitične postopke z mobilnim kemijskim laboratorijem.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Chouhan, Raghuraj S., Gačnik, Jan, Živković, Igor, Vijayakumaran Nair, Sreekanth, Van De Velde, Nigel Willy, Vesel, Alenka, Šket, Primož, Gandhi, Sonu, Jerman, Ivan, Horvat, Milena, Green synthesis of a magnetite/graphitic carbon nitride 2D nanocomposite for efficient Hg^{2+} remediation, *Environmental science. Nano.*, 2023, 10, 10, 2658-2671, DOI: 10.1039/D3EN00367A



Slika 7: Namestitev DELTA Q IRMS je pomemben napredek pri analizi izotopov, ki združuje izjemno občutljivost, linearnost in stabilnost. Povezan z različnimi perifernimi napravami Thermo Scientific™ je namenjen podpori različnim raziskavam, vključno z metrologijo, znanostjo o hrani, okoljskimi študijami in arheologijo. Poleg obstoječih instrumentalnih zmogljivosti v Sloveniji bo DELTA Q koristil širokemu spektru raziskovalnih in industrijskih partnerjev.

- **Dr. Ana Kovačič in Lidija Strojnik sta bili počaščeni s priznanjem *Summa cum laude* na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana za njune izjemne akademske dosežke.**
- **Dr. R. Chouhan in M. Štok ter sodelavci so objavili članek o anodnih materialih za mikrobne gorivne celice v reviji *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ki obravnava izzive in prihodnje usmeritve v raziskavah MFC.**



Slika 8: Ob avgustovskih poplavah v Mežiški dolini je ELME izvedel meritve prisotnosti strupenih kovin v sedimentu in vzorcih naplavin.

2. Zamljen, Tilen, Lojen, Sonja, Zupanc, Vesna, Slatnar, Ana, Determination of the yield, enzymatic and metabolic response of two *Capsicum* spp. cultivars to deficit irrigation and fertilization using the stable isotope ^{15}N , *Chemical and biological technologies in agriculture*, 2023, 10, 129, DOI: 10.1186/s40538-023-00501-9
3. Runkel, Agneta Annika, Stajniko, Anja, Snoj Tratnik, Janja, Mazej, Darja, Horvat, Milena, Příbylová, Petra, Kosjek, Tina, Exposure of children and adolescents from Northeastern Slovenia to per- and polyfluoroalkyl substances, *Chemosphere*, 2023, 321, 138096, 1-11, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.138096
4. Palir, Neža, Stajniko, Anja, Snoj Tratnik, Janja, Mazej, Darja, Sešek-Briški, Alenka, France Štiglic, Alenka, Horvat, Milena, Falnoga, Ingrid, *et al.*, ALAD and APOE polymorphisms are associated with lead and mercury levels in Italian pregnant women and their newborns with adequate nutritional status of zinc and selenium, *Environmental research*, 2023, 220, 115226, 1-16, DOI: 10.1016/j.envres.2023.115226
5. Novak, Rok, Robinson, Johanna A., Kanduč, Tjaša, Sarigiannis, Dimosthenis, Kocman, David, Simulating the impact of particulate matter exposure on health-related behaviour : a comparative study of stochastic modelling and personal monitoring data, *Health & place*, 2023, 83, 103111, 1-14, DOI: 10.1016/j.healthplace.2023.103111
6. Kikaj, Dafina, Chambers, Scott D., Crawford, Jagoda, Kobal, Matjaž, Gregorič, Asta, Vaupotič, Janja, Investigating the vertical and spatial extent of radon-based classification of the atmospheric mixing state and impacts on seasonal urban air quality, *Science of the total environment*, 2023, 872, 162126, 1-13, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162126
7. Verovšek, Taja, Šuštarčič, Ariana, Laimou-Geraniou, Maria, Krizman Matasić, Ivona, Prosen, Helena, Eleršek, Tina, Kramarič Zidar, Vlasta, Mislej, Vesna, Mišmaš, Boštjan, Stražar, Marjetka, Levstek, Meta, Cimrmančič, Bernardka, Lukšič, Simon, Uranjek, Nataša, Kozlovič-Bobič, Tjaša, Kosjek, Tina, Kocman, David, Heath, David John, Heath, Ester, Removal of residues of psychoactive substances during wastewater treatment, their occurrence in receiving river waters and environmental risk assessment, *Science of the total environment*, 2023, 866, 161257, 1-9, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.161257
8. Kovačič, Ana, Gulin, Martin Rafael, Nannou, Christina, Koronaiou, Lelouda-Athanasia, Kosjek, Tina, Heath, David John, Maier, Mark S., Lambropoulou, Dimitra A., Heath, Ester, Aerobic degradation of tetramethyl bisphenol F (TMBPF) with activated sludge: kinetics and biotransformation products, *Environmental research*, 2023, 227, 115790, 1-10, DOI: 10.1016/j.envres.2023.115790
9. Basu, Niladri, Bastiansz, Ashley, Dórea, José G., Fujimura, Masatake, Horvat, Milena, Shroff, Emelyn, Weihe, Pal, Zastenskaya, Irina, Our evolved understanding of the human health risks of mercury, *Ambio*, 2023, 52, 5, 877-896
10. Masten Rutar, Jasmina, Strojnik, Lidija, Nečemer, Marijan, Bontempo, Luana, Ogrinc, Nives, Determining the authenticity of Spirulina dietary supplements based on stable isotope and elemental composition, *Foods*, 2023, 12, 3, 562-1-562-20, DOI: 10.3390/foods12030562
11. Cenikj, Gjorgjina, Strojnik, Lidija, Angelski, Risto, Ogrinc, Nives, Koroušič-Seljak, Barbara, Eftimov, Tome, From language models to large-scale food and biomedical knowledge graphs, *Scientific reports*, 2023, 13, 7815, 1-14, DOI: 10.1038/s41598-023-34981-4

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Delavnica GMOS-Train: Od znanosti do politike, 6.-8. marec 2023, Hereon, Hamburg, Nemčija
2. Srečanje svetovalnega telesa SURFBIO inovacijskega središča, 8. marec 2023
3. TunTwin poletna šola: Analiza lahkih stabilnih izotopov v okoljskih in živilskih vzorcih: tehnična analiza in validacija metod, 18.-20. april 2023, Ljubljana, Slovenija
4. 2. ISO-FOOD simpozij: Od virov hrane do zdravja, v sodelovanju z Mednarodno podiplomsko šolo Instituta Jožef Stefan, 24.-27. april 2023, Piran, Slovenija
5. Okrogla miza za razvoj SURFBIO inovacijskega središča, 20. junij 2023
6. Delavnica Živo srebro in zdravje ljudi, v okviru GMOS-Train projekta, 18.-20. september 2023, IFREMER, Nantes, Francija
7. FoodTraNet delavnica in timsko povezovanje: Izkušnja Barilla, 3.-5. oktober 2023, Parma, Italija
8. Delavnica za nove merilne metode projekta Atmospheric Reactive Mercury, soorganizirano z Univerzo v Renu, 9.-15. oktober 2023, Reno, Nevada, ZDA
9. Delavnica Co-creation Living Labs: Kontekstualna analiza pilotov, 10. oktober 2023, Firenze, Italija
10. Živo srebro: Povezovanje znanosti, politike in Konvencije Minamata skozi doktorsko usposabljanje, Knowledge Lab, v okviru COP5, 3. november 2023, Ženeva, Švica
11. Otvoritev SURFBIO inovacijskega središča za koloidno biologijo in biologijo površin, 9. november 2023, Ljubljana, Slovenija
12. Zimska šola: Raziskovanje interakcij med mikrobnno celično površino in koloidi: napredne analitične metode, 10. november 2023, Ljubljana, Slovenija

Nagrade in priznanja

1. Polona Klemenčič je prejela Krkino nagrado za svoje magistrsko delo z naslovom *Izpostavljenost kadmiju v slovenski populaciji* v Novem mestu, september 2023.
2. Adna Alilović je prejela nagrado ERASS v kategoriji Specialty Section Award, Chemical Risk Assessment Research, na konferenci EUROTOX 2023 za svoje raziskovanje o metil živem srebru po zaužitju tune v Ljubljani, september 2023.
3. dr. Ana Kovačič in dr. Lidija Strojnik sta dosegli Summa Cum Laude, prestižno priznanje na Mednarodni podiplomski šoli Jožef Stefan, za njuno izjemno akademsko odličnost v Ljubljani, julij 2023.
4. Cathrine Terro je prejela nagrado za najboljši prispevek na 15. konferenci Jožef Stefan IPSS v Kamniku, junij 2023.
5. Anja Vehar je bila počaščena z 10. Saubermacherjevo okoljsko nagrado za najboljše magistrsko delo na področju energije in okolja z naslovom Spremljanje učinkovitosti odstranjevanja bisfenolov iz odpadnih voda v komunalni čistilni napravi v Kidričevem, maj 2023.
6. Projekt CitieS-Health je prejel častno omembo na podelitvi nagrad Evropske unije za državljansko znanost v Linzu, Avstrija, september 2023.
7. Eirini Andreasidou je zmagala na Science Slamu simpozija ISO-FOOD: Od vira hrane do zdravja v Portorožu, Slovenija, april 2023.
8. Eirini Andreasidou je bila zmagovalka tekmovanja za dejavnost javnega angažmaja na poletni šoli FoodTraNet 2 v Almerii, Španija, junij 2023.
9. dr. Aleš Lapanje in dr. Tomaž Rijavec sta dosegla tretje mesto na podelitvi nagrad rektorja Univerze v Ljubljani za najboljšo inovacijo v kategoriji Raziskovalci in prejela priznanje za njuno izjemno delo na projektu GumGuardian v Ljubljani, oktober 2023.
10. Klara Žagar je prejela nagrado za svoj prispevek na konferenci ISO-FOOD za svoje delo o sledenju $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ v vodi iz pipe, Portorož, april 2023.
11. dr. Žiga Tkalec in kolegi so prejeli nagrado Excellent in Science 2023 za svoj članek Suspect and non-targeted screening-based human biomonitoring identified 74 biomarkers of exposure in urine of Slovenian children, Ljubljana, november 2023.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EMPIR - EDC-WFD; Metrologija pri nadzornih meritvah hormonskih motilcev v okviru Vodne Direktive EURAMET e.V. prof. dr. Ester Heath
2. LIFE18 ENV/SI; LIFE HIDAQUA European Commission prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
3. EMPIR; STELLAR; Nadgradnja podnebnih ukrepov in regulative s pomočjo meritev stabilnih izotopov EURAMET e.V. prof. dr. Nives Ogrinc
4. EMPIR; Si-Hg; Meroslovje za sledljive protokole za koncentracije elementarnega in oksidirane živega srebra EURAMET e.V. prof. dr. Milena Horvat
5. EMPIR - Food-MetNet; Podpora Evropski meroslovni mreži za varnost hrane EURAMET e.V. prof. dr. Nives Ogrinc
6. EMPIR - MetroCycleEU; Meroslovje za recikliranje ključnih tehnoloških elementov v podporo agendi evropskega krožnega gospodarstva EURAMET e.V. prof. dr. Radojko Jačimović
7. Preverjanje pristnosti visokokakovostnih slovenskih živilskih izdelkov z uporabo naprednih analitskih tehnik IAEA - International Atomic Energy Agency prof. dr. Nives Ogrinc
8. Variabilnost izotopov dežja za oceno vpliva klimatskih sprememb; Trendi spreminjanja izotopske sestave padavin v Sloveniji med klimatskimi spremembami IAEA - International Atomic Energy Agency prof. dr. Sonja Lojen
9. Regionalni projekt TC RER/7/014: Posodabljanje elementov nadzora radioaktivnosti okolja in ocene vplivov v regiji IAEA - International Atomic Energy Agency doc. dr. Marko Štok
10. Strokovno izpopolnjevanje za go. Kasiet Salymbekova, 02.03.2020 - 31.12.2020, ICTP/ IAEA STEP program ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica prof. dr. Milena Horvat
11. COST CA19120; WATSON - Izotopi molekule vode v kritičnem območju: od napajanja podzemne vode do transpiracije rastlin COST Association AISBL dr. Polona Vreča
12. COST CA19123; PHOENIX - Varovanje, stabilnost, rehabilitacija degradiranih okolij COST Association AISBL prof. dr. Aleš Lapanje
13. Strokovno izpopolnjevanje ge. Nurgul Nursapino, Kazahstan, ICTP/IAEA STEP program ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica doc. dr. Marko Štok
14. H2020 - GREENER; Integrirani sistemi za učinkovito remediacijo okolja European Commission prof. dr. Aleš Lapanje
15. H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov European Commission prof. dr. Milena Horvat
16. H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti European Commission prof. dr. Nives Ogrinc
17. H2020 - A-CINCH; Razširjeno sodelovanje pri izobraževanju in usposabljanju na področju jedrske in radiokemije European Commission doc. dr. Marko Štok
18. H2020 - TUNTWIN; Združenje za razvoj naprednih analitičnih strategij za krepitev zmogljivosti in inovacij za tunizijsko gospodarstvo: Aplikacija na tri ključne tunizijske industrijske sektorje European Commission prof. dr. Nives Ogrinc
19. H2020 - MERFISH; Proučevanje interakcij Hg in Se iz rib ter vpliva le-teh na zdravje človeka European Commission prof. dr. Milena Horvat

20. H2020 - URBANOME; Urbani observatorij za multiparticipativno izboljšanje zdravja in dobrega počutja
European Commission
dr. David Kocman
21. H2020 - GMOS-Train; Globalni opazovalni sistem za živo srebro in interdisciplinarno usposabljanje v podporo konvenciji Minamata
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
22. H2020 - SurfBio; Inovacijsko središče za površinske in koloidno biološke raziskave
European Commission
prof. dr. Aleš Lapanje
23. H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
24. H2020 - STROMASS; Hitre metode za določanje Sr-90 z uporabo laserske ablacije ICPQQ-MS
European Commission
doc. dr. Marko Štok
25. AlgFer - Mlečnokislinska fermentacija za obogatitev mikroalge biomase z nutrienti in bioaktivnimi spojinami
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Nives Ogrinc
26. Grafiti ogljikov nitridni nano-nosilec naložen z kurkuminom, za zelo močno sinergijsko zdravljenje raka
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Raghuraj Singh Chouhan
27. Frakcionacija kositrovih izotopov med transformacijo organokositrovih spojin kot orodje za preučevanje njihovega obnašanja in porazdelitve v morskem okolju
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tea Zuliani
28. Valorizacija odpada pri proizvodnji oljčnega olja z mikrobnimi večvrstnimi biokatalitičnimi agregati
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Aleš Lapanje
29. OE - PARC; Partnerstvo za oceno tveganj zaradi kemikalij
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
30. OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
31. OE - INQUIRE; Prepoznavanje kemičnih in bioloških determinant, njihovih virov in strategij za promocijo bolj zdravih domov v evropskem prostoru
European Commission
dr. David Kocman
32. OE - SECURE; Krepitev evropske oskrbovalne verige z medicinskimi radionuklidi naslednje generacije
European Commission
doc. dr. Marko Štok
33. OE - BIOSYSMO; Bioremediacijski sistemi, ki izkoriščajo sinergije za izboljšano odstranjevanje mešanih onesnažil
European Commission
prof. dr. Aleš Lapanje
34. OE - PIANOFORTE; Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji
European Commission
doc. dr. Marko Štok
35. OE - EIRENE PPP; Projekt pripravljalne faze ocenjevanja okoljske izpostavljenosti raziskovalne infrastrukture
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
36. OE - THEROS; Integrirana zbirka orodij za izboljšano preverjanje in preprečevanje ponaredkov in neskladnosti v verigi preskrbe z ekološkimi in geografskimi oznakami živil
European Commission
dr. David Kocman
37. OE - WASTELESS; Rešitve za kvantifikacijo odpadkov za omejitev okoljskega stresa
European Commission
dr. Lidija Strojnik
38. OE - FishEUTrust; Evropska integracija novih tehnologij in družbenoekonomskih rešitev za povečanje zaupanja potrošnikov udeleževanje pri izdelkih morske hrane
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
39. OE - BPEC-DW; Razvoj novih tehnologij, ki temeljijo na bio-foto-elektrokemičnemu odstranjevanju tritija iz deionizirane vode za separacijo tritija ter sočasno generiranje H2
European Commission
doc. dr. Marko Štok
40. LIFE+; LIFE IP RESTART - Spodbujanje krožnega gospodarstva v Sloveniji s pomočjo predelave odpadkov v uporabne proizvode
European Commission
prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
41. PRIMA; PROMEDLIFE - Novi prehrabeni izdelki za promocijo mediteranskega življenjskega sloga in zdravega prehranjevanja
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Nives Ogrinc
42. EMPIR; MetroPOEM - Metrologija za poenotenje meritev okoljskih onesnažil v Evropi
EURAMET e.V.
prof. dr. Tea Zuliani
43. EMPIR - STANBC; Standardizacija meritev aerosolov črnega ogljika za modeliranje kakovosti zraka in podnebja
EURAMET e.V.
prof. dr. Milena Horvat
44. RadoNorm-SLO; Občanska znanost kot podpora pri povečanju monitoringa radona in zmanjševanju njegovih posledic v Beli krajini, Slovenija
SCK/CEN - Studiecentrum voor Kernenergie
dr. David Kocman
45. Meritve in poročilo o CRM BCR-462, BCR-646 in ERM-CA400
European Commission
prof. dr. Tea Zuliani
46. Meritve elementov ERM-CZ130: analize - ICP-MS (As, Cd, Pb, Ni) in analize - k0-INAA (As)
European Commission
prof. dr. Tea Zuliani
47. Stokovno izpopolnjevanje za go. Dorice Seif, ICTP/IAEA STEP program
ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica
doc. dr. Marko Štok
48. Stokovno izpopolnjevanje za dr. Georgea Melikadzeja, IAEA referenčna številka: SV-RER7013-2205050; od 08. do 12. 05. 2023
IAEA - International Atomic Energy Agency
dr. Polona Vreča
49. Meritve in poročilo o CRM ERM-CE101
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
50. Meritve in poročilo o CRM ERM-CE477
European Commission
prof. dr. Tea Zuliani
51. Meritve in poročilo o CRM ERM-CA403
European Commission
prof. dr. Tea Zuliani

PROGRAMI

1. Dizajn novih lastnosti (nano) materialov & aplikacije
dr. Doris Potočnik
2. Modeliranje in ocene posegov v okolju in energetiki
doc. dr. Marko Štok
3. Kroženje snovi v okolju, snovna bilanca in modeliranje okoljskih procesov ter ocena tveganja
prof. dr. Milena Horvat

PROJEKTI

1. Vpliv endokrinih motilcev (bisfenolov, parabenov, triklosana) in potencialno toksičnih in esencialnih kemičnih elementov na porod, neplodnost in raka jajčnika v Sloveniji
prof. dr. Milena Horvat
2. Spremljanje kliničnega in imunskega odgovora za izboljšanje zdravljenja spontanega perifernih tumorjev psor s kombinacijo elektrokemoterapije in genskega elektroprenosa IL-12
doc. dr. Tina Kosjek
3. Identifikacija genskih determinant kemične toksičnosti zelene alge Chlamydomonas reinhardtii
prof. dr. Milena Horvat
4. Kremacija ali inhumacija pri preteklih skupnostih? Multidisciplinarno vprašanje na evropski ravni
dr. Doris Potočnik
5. Izcedne talne vode kot neizkoriščen vir informacij o biotski raznovrstnosti tal
prof. dr. Nives Ogrinc
6. Podledeniški karbonatni sedimenti - nov vir za preučevanje obstoja ledenikov v glaciokraškem okolju
prof. dr. Sonja Lojen
7. Alge tehnologije za zelene produkte - ALGreen
prof. dr. Ester Heath
8. Hrasti za gozdove in gozdarstvo v prihodnosti: Quercus robur versus Quercus petraea
dr. Bor Krajnc
9. Klimatske spremembe in ektomikorizne glive - v kakšne razmere se lahko uspešno sadimo gomoljike
dr. Lidija Strojnik

10. Napredni tehnološki procesi za recikliranje odpadne keratinske biomase in razvoj novih funkcionalnih bio-produktov na osnovi keratina
prof. dr. Nives Ogrinc
11. MitoCan - Predklinični razvoj novih zaviralcev mitohondrijskih ionskih kanalov za zdravljenje raka
doc. dr. Tina Kosjek
12. Proučevanje izbranih invazivnih rastlinskih vrst iz roda Fallopia kot zanesljivih virov bioaktivnih spojin
prof. dr. Aleš Lapanje
13. Denudirane jame ravnine Nullarbor
prof. dr. Sonja Lojen
14. Podpora rekonstrukciji holocenskega podnebja z visokoločljivimi kriosferskimi podatki iz kraških ledenih jam v Sloveniji
dr. Polona Vreča
15. Novi pristopi za oceno uporabe psihoaktivnih zdravilnih učinkovin in prepovedanih drog z analizo odpadnih vod
prof. dr. Ester Heath
16. Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji
prof. dr. Sonja Lojen
17. Stroškovno učinkovita separacija tritija iz vode z biološkimi sistemi - BIOTRISEP
doc. dr. Marko Štok
18. Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih - IsoCont
prof. dr. Milena Horvat
19. Kakovost, varnost in pristnost živil in krme na osnovi proteinov žuželk
dr. David John Heath
20. Nov pristop za gnojenje rastlin, ki temelji na mikrobnih biokatalitičnih agregatih
doc. dr. Tomaž Rijavec
21. Valorizacija odpada pri proizvodnji oljčnega olja z mikrobnimi večvrstnimi biokatalitičnimi agregati
prof. dr. Aleš Lapanje
22. Validacija modelov transporta onesnažil v povodjih z uporabo stabilnih izotopov in multielementnih meritev
prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
23. Plazemska razgradnja genotoksičnih kontaminantov v odpadnih vodah
prof. dr. Ester Heath
24. WellBEEing: spremljanje čebelnih družin s pametnimi senzorji
dr. Janja Vidmar
25. Neravnotežje kovin v sledovih kot biomarker rakov biliarnega trakta
prof. dr. Janez Ščančar
26. CAEmissionMonitor - Dolocanje hitrosti primarnih emisij ogljicnih aerosolov in sekundarne produkcije organskih aerosolov
prof. dr. Janja Vaupotič
27. Avtentični produkti - višje kakovosti in trajnostna prašicereja (A-SUS)
prof. dr. Nives Ogrinc
28. Hidroekološko utemeljeno delovanje pretočnih rečnih akumulacij za učinkovito upravljanje sedimentov in proizvodnjo električne energije
prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
29. „Uptake,“: ponovna uporaba vode in blata iz čistilni naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev priporitetnih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
prof. dr. Ester Heath
30. Raziskave usode kroma iz industrijskih in urbanih virov z uporabo stabilnih izotopskih sledilcev kroma ter naprednih tehnik, ki temeljijo na kromatografiji in masni spektrometriji: skrb za okolje in zdravje
dr. Stefan Marković
31. Ocena potencialnega vpliva sežiga in sosežiga odpadkov na zdravstvene posledice pri ljudeh: modelna študija na primeru cementarne Salanit Anhovo
prof. dr. Milena Horvat
32. Prisotnost živega srebra v pitni vodi na območju Občine Idrija
doc. dr. Jože Kotnik
33. EPOS-SI (EPOS-European Plate Observing System)
prof. dr. Janja Vaupotič
34. METROFOOD
prof. dr. Nives Ogrinc
35. SmartMOVE-Pametne rešitve za trajnostno mobilnost v Sloveniji
Inštitut za politike prostora
doc. dr. Davor Kantić
36. Visokostorilna in trajnostna vzreja tekačev pasme krškopoljski prašič s pomočjo preciznih krmilnih avtomatov
Agencija RS za kmetijske trge
dr. Doris Potočnik
37. Optimizacija porabe energije pri reji govedi rjave pasme
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
dr. Doris Potočnik
38. Sofinanciranje LIFE18 ENV/SI; LIFE HIDAQUA: Sonaravna uporaba vode v industrijskih panogah z veliko uporabo vode
Ministrstvo za okolje in prostor
prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
39. Dizajn novih lastnosti (nano) materialov & aplikacije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Doris Potočnik
40. Ocena potencialnega vpliva sežiga in sosežiga odpadkov na zdravstvene posledice pri ljudeh: modelna študija na primeru cementarne Salanit Anhovo
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Milena Horvat
41. Izvajanje meritve živega srebra v zraku in padavinah za leti 2021 in 2022
Ministrstvo za okolje in prostor
prof. dr. Milena Horvat
42. Izvedba monitoringa radioaktivnosti pitne vode za leto 2023 - SKLOP 2
Ministrstvo za zdravje
doc. dr. Marko Štok
43. Izvajanje analiz tributil in dibutylkositrovih spojin v morski vodi
Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo
prof. dr. Tea Zuliani
44. Izvajanje programa humanega biomonitoringa v letu 2023
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Milena Horvat
45. Izvajanje dejavnosti analiz uradnih vzorcev na vsebnost elementov in stabilnih izotopov za leto 2023
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
prof. dr. Nives Ogrinc
46. Prisotnost živega srebra v pitni vodi na območju Občine Idrija
Ministrstvo za zdravje
doc. dr. Jože Kotnik
47. Servisne usluge; Določitev izotopske sestave ogljika v vzorcih sladkorja
prof. dr. Nives Ogrinc
48. Manjše storitve za leti 2023 in 2024
dr. Tjaša Kanduč
49. Določitev izotopske sestave kisika in vodika
dr. Polona Vreča
50. Analiza kovin TBT in DBT v sedimentih, školjkah in ribah
prof. dr. Janez Ščančar
51. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Aleš Lapanje
52. Monitoring okoljskega odtisa v Graviera Naxou PDO produktu za certificiranje avtentičnosti in geografskega porekla - izotopi stroncija in stabilni izotopi H, O, C, N
Agricultural Cooperatives Union
prof. dr. Tea Zuliani
53. Kartiranje radona in ocena tveganja za radon v Gruziji
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University
prof. dr. Janja Vaupotič
54. Podpora raziskovanim aktivnostim na področju okoljskih znanosti/organskih analiz
Sherwin-Williams Company
prof. dr. Ester Heath
55. Merjenje koncentracij TBT v ekstraktih morske vode in koncentracij Hg v vzorcih vode; Analize vode severnega, srednjega in južnega Jadrana
Institut Ruder Bošković
prof. dr. Janez Ščančar
56. Analize elementov v sledih vzorcev rečne vode
Technischen Universität Wien
prof. dr. Radmila Milačič Ščančar
57. Hg analize morske vode
Istituto per lo Studio degli Impatti Antropici
prof. dr. Milena Horvat

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajezbe za HE Mokrice
IRGO Consulting, d. o. o.
dr. Tjaša Kanduč
2. Elementna analiza z uporabo masne spektrometrije za karakterizacijo bioloških zdravil
Lek, d. d.
prof. dr. Janez Ščančar
3. SKLOP1: Meritve plinastih efluentov - Specifične analize H-3 in C-14 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025; SKLOP 2: Meritve Plinastih efluentov - Spektrometrija gama in analiza stroncija Sr-89/90 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marko Štok
4. Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK v povezavi s HE Brežice za leti 2022 in 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marko Štok
5. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev priporitetnih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
Komunala Kranj, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath

6. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
JP CCN Domžale-Kamnik, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
7. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
Komunala, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
8. Sofinanciranje izvajanje projekta UPTAKE
Občina Krško
prof. dr. Ester Heath
9. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
Komunala Novo mesto, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
10. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
11. Sofinanciranje L7-4422 UPTAKE Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika
KSD, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
12. Izvedba neodvisnega revizijskega pregleda
UNIOR Kovaška industrija, d. d.
doc. dr. Davor Kontić
13. Sofinanciranje projekta Z1-50036 Raziskave usode kroma iz industrijskih in urbanih virov z uporabo stabilnih izotopskih sledilcev kroma ter naprednih tehnik, ki temeljijo na kromatografiji in masni spektrometriji: skrb za okolje in zdravje
UNIOR Kovaška industrija, d. d.
dr. Stefan Marković

OBISKI

1. Klaudia Block, Univerza v Gdansk, Gdansk, Poljska, 1. 1.–3. 3. 2023 in 1.–14. 6. 2023
2. Marija Petrović, Univerza v Beogradu, Beograd, Srbija, 12. 2.–7. 3. 2023
3. Dorice Seif, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in tehnologijo, Dodoma, Tanzanija, 27. 3.–24. 6. 2023
4. Olfa Kallich ep Ziri, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–23. 4. 2023
5. Mohsen Ben Alaya, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
6. Sassi ep Souissi, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
7. Emna Jridette ep Dougari, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
8. Manel Haraketi ep Hosni, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
9. Riadh Hamdi, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
10. dr. Houyem Abderrazak ep Snani, INRAP, Ariana, Tunizija, 16.–30. 4. 2023
11. dr. Alejandro Cifuentes, Foodomics, CIAL, Madrid, Španija, 22.–26. 4. 2023
12. dr. George Melikadze, Gruzijko geotermalno društvo, Tbilisi, Gruzija, 8.–12. 5. 2023
13. Namrata S. Kumar, Indijsko veleposlaništvo, Ljubljana, 27. 6. 2023
14. dr. Donata Canu, OGS, Trst, Italija, 1. 8. 2023
15. Ginevra Roseti, OGS, Trst, Italija, 1. 8. 2023
16. dr. Casimo Salidoro, OGS, Trst, Italija, 1. 8. 2023
17. dr. Stefano Salon, OGS, Trst, Italija, 1. 8. 2023
18. Mara Antonietta Carrera, EEZA-CSIC, Almeria, Španija, 15. 8.–30. 9. 2023
19. dr. Alexandre Soares Leal, CDTN, Belo Horizonte, Brazilija, 16. 8. 2023
20. dr. Bahridin Nishonov, Znanstvenoraziskovalni hidrometeorološki inštitut, Taškent, Uzbekistan, 22. 8. 2023
21. dr. Igor Nicoara, Inštitut za geologijo in seizmologijo Moldavske državne univerze, 22. 8. 2023
22. Nayyer Rehman, WRG Europe, Exeter, Velika Britanija, 1. 9.–15. 10. 2023
23. dr. Maria Angela de Barros Correia Menezes, CDTN, Belo Horizonte, Brazilija, 14. 9.–7. 10. 2023
24. Petra Škvorova, Češka univerza za naravoslovne vede v Pragi, Praga, Češka, 18. 9.–18. 10. 2023
25. Allen Anies, Univerza v Antwerpnu, Antwerp, Belgija, 18. 9.–31. 10. 2023
26. Aseel Husain Almomhammad, Jordanska komisija za jedrsko energijo, Aman, Jordanija, 2.–6. 10. 2023
27. dr. Lubertus Bijlsma, Univerza Jaume I, Valencia, Španija, 16.–19. 10. 2023
28. Niki Simonović, Inštitut Ruder Bošković, Zagreb, 2. 11.–3. 12. 2023
29. Samira Bejaoui ep Jelassi, INRAP, Ariana, Tunizija, 20. 11.–3. 12. 2023
30. dr. Martina Furdek Turk, Inštitut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska, 22.–24. 11. 2023
31. dr. Maja Ivanić, Inštitut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska, 22.–24. 11. 2023
32. dr. Vesna Despotović, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 3.–8. 12. 2023
33. dr. Daniela Šojić Merkulov, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 3.–8. 12. 2023
4. Eirini Andreasidou, Ester Heath, Nives Ogrinc, Cathrine Terro, udeležba na projektne sestanku FoodTraNet projekta in poletni šoli, Almeria, Španija, 17.–23. 6. 2023
5. Eirini Andreasidou, Ester Heath, Nives Ogrinc, Cathrine Terro, udeležba na ITN Teambuilding, Parma, Italija, 3.–5. 10. 2023
6. Teodor Daniel Andron, udeležba na dogodku Science is Wonderful, Bruselj, Belgija, 14.–18. 3. 2023
7. Katja Babič, udeležba na konferenci PANGBORN 2023, Nantes, Francija, 19.–25. 8. 2023
8. Katja Babič, Nives Ogrinc, udeležba na konferenci – 7th IMEKO FOODS Conference, Pariz, Francija, 24.–30. 10. 2023
9. Katja Babič, David Heath, Anja Vehar, udeležba na TUNTWIN Stakeholder Event, Ariana, Tunizija, 19.–22. 11. 2023
10. Dmitrii Deev, Tayeb Sharifi, izvedba poizkusov v laboratoriju, Terrassa, Španija, 19.–23. 6. 2023
11. Dmitrii Deev, udeležba na ECIS 2023, Neapelj, Italija, 3.–9. 9. 2023
12. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, udeležba na delavnici Trends in microbial solutions for sustainable agriculture, Beograd, Srbija, 12.–16. 9. 2023
13. Ingrid Fálnoga, udeležba na simpoziju IEBS 2023, Šibenik, Hrvatska, 23.–27. 5. 2023
14. Tjaša Goltnik, Majda Nikezić, Tea Zuliani, obisk Univerze v Leobnu, Leoben, Avstrija, 1.–2. 6. 2023
15. David Heath, Anja Vehar, udeležba na konferenci INSECTA, Magdeburg, Nemčija, 12.–15. 9. 2023
16. Ester Heath, zaključni sestanek EDCWFD projekta, Berlin in Zurich, 20.–26. 2. 2023
17. Ester Heath, sestanek z DCE člani in udeležba na ICCE 2023 konferenci, Benetke, Italija, 7.–16. 6. 2023
18. Ester Heath, udeležba na konferenci Euroanalysis 2023, Ženeva, Švica, 27.–31. 8. 2023
19. Ester Heath, vabljen predavanje na Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Kanarski otoki, Španija, 26. 10.–2. 11. 2023
20. Milena Horvat, Radojko Jačimović, udeležba na EURAMET sestanku, Pariz, Francija, 30. 1.–3. 2. 2023
21. Milena Horvat, evalvacija REA MSCA actions, Bruselj, Belgija, 5.–11. 2. 2023
22. Milena Horvat, OESG meeting, Minamatska konvencija, Ženeva, Švica, 26.–31. 3. 2023
23. Milena Horvat, udeležba na Final project meeting BeMarmat projekta, Bruselj, Belgija, 3.–5. 5. 2023
24. Milena Horvat, udeležba na sestanku podpisnikov pogodbe za izvedbo projekta EU PARC, Atene, Grčija, 27. 6.–1. 7. 2023
25. Milena Horvat, udeležba na skupni seji Izvršilnega telesa Konvencije o dolgoročnem prenosu čezmejnega onesnaževanja zraka na daljavo, Ženeva, Švica, 10.–12. 9. 2023
26. Milena Horvat, udeležba na EUCYS 2023, Bruselj, Belgija, 13.–17. 9. 2023
27. Milena Horvat, udeležba na rednem delovnem sestanku GMOS-Train projekta, Nantes, Francija, 17.–21. 9. 2023
28. Milena Horvat, Sreekanth Vijayakumaran Nair, Igor Živković, udeležba na delavnici Atmospheric Reactive Mercury Project New Measurement Methods Workshop, Reno, Združene države Amerike, 9.–15. 10. 2023
29. Milena Horvat, Sreekanth Vijayakumaran Nair, Oleg Travnikov, udeležba na COP5, Ženeva, Švica, 30. 10.–4. 11. 2023
30. Milena Horvat, udeležba na sestanku ESFRI, Bruselj, Belgija, 28. 11.–1. 12. 2023
31. Milena Horvat, udeležba na 2nd EIRENE Annual Consortium Meeting, Rim, Italija, 11.–14. 12. 2023
32. Radojko Jačimović, ekspertna misija v CDTN, Belo Horizonte, Brazilija, 3. 3.–1. 4. 2023
33. Radojko Jačimović, udeležba na CCQM Inorganic Analysis Working Group, Pariz, Francija, 24.–27. 4. 2023
34. Radojko Jačimović, udeležba na konferenci RANC 2023, Budimpešta, Madžarska, 7.–12. 5. 2023
35. Radojko Jačimović, delovni sestanek v okviru projekta MetroCycleEU, Pariz, Francija, 3.–5. 9. 2023
36. Radojko Jačimović, ekspertna misija v CDTN, Belo Horizonte, Brazilija, 10.–26. 11. 2023
37. Tjaša Kanduć, udeležba na konferenci ESIR XVI Workshop Graz 2023, Gradec, Avstrija, 9.–14. 7. 2023
38. Norbert Kavasi, raziskovalno delo na Institutu Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska, 4.–7. 7. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Anatolii Abalymov, Dmitrii Deev, Farzaneh Hosseini, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, udeležba na konferenci, Power of Microbes in industry and environment 2023, Poreč, Hrvatska, 15.–18. 5. 2023
2. Anatolii Abalymov, Dmitrii Deev, Farzaneh Hosseini, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, udeležba na konferenci BIOREMID in sestanku projekta GREENER, Basel, Švica, 27. 6.–1. 7. 2023
3. Saeed Waqar Ali, Teodor Daniel Andron, Milena Horvat, David Kocman, Sreekanth Vijayakumaran Nair, Igor Živković, udeležba na projektne sestanku in delavnicah v sklopu GMOS-Train projekta, Hamburg, Nemčija, 5.–9. 3. 2023

39. Norbert Kavasi, raziskovalo delo na Institutu Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 19.–21. 7. 2023
40. David Kocman, Rok Novak, Neža Palir, Janja Snoj Tratnik, delovni sestanek EU projekta INQUIRE, Brno, Češka republika, 16.–18. 1. 2023
41. David Kocman, udeležba na Kick-off sestanku projekta THEROS, Atene, Grčija, 22.–24. 2. 2023
42. David Kocman, udeležba na letnem sestanku Urban Health Cluster v okviru projekta URBANOME, Bologna, Italija, 8.–9. 6. 2023
43. David Kocman, Rok Novak, URBANOME Annual Meeting, Atene, Grčija, 19.–22. 6. 2023
44. David Kocman, Janja Snoj Tratnik, udeležba na konferenci ISES 2023 Annual Meeting, Chicago, Združene države Amerike, 26. 8.–2. 9. 2023
45. David Kocman, Janja Snoj Tratnik, udeležba na letnem sestanku projekta PARC – delovni sklop WP7 in delavnica FAIRification of HBM datasets, Bruselj, Belgija, 17.–21. 9. 2023
46. David Kocman, udeležba na letnem sestanku EU projekta INQUIRE, Amsterdam, Nizozemska, 25.–27. 9. 2023
47. David Kocman, Nives Ogrinc, delegacija IJS na dogodku Znanost in inovacije, Rim, Italija, 4.–6. 12. 2023
48. David Kocman, udeležba na letnem sestanku projekta THEROS, Novi Sad, Srbija, 12.–14. 12. 2023
49. Davor Kontić, udeležba na konferenci in seminarju projekta Interreg V-B ADRIAN TransCEEarlyWarning, Varaždin, Hrvaška, 22. 2. 2023
50. Davor Kontić, udeležba na sestanku in delavnici projekta PARC WP5/WP6, Berlin, Nemčija, 30. 5.–2. 6. 2023
51. Davor Kontić, udeležba na delavnici partnerjev mreže Civinet (mreža JV Evrope za trajnostno mobilnost), Sarajevo, Bosna in Hercegovina, 11.–14. 10. 2023
52. Tina Kosjek, udeležba na PARC 4.3_E01 sestanku, Leipzig, Nemčija, 13.–15. 3. 2023
53. Tina Kosjek, Helena Plešnik, udeležba na konferenci ASMS 2023, Houston, Združene države Amerike, 2.–11. 6. 2023
54. Tina Kosjek, Janja Snoj Tratnik, udeležba na PARC WP4 letnem sestanku in PARC 4.2.1 Prioritization delavnici, Pariz, Francija, 9.–14. 10. 2023
55. Jože Kotnik, izvajanje meritev Hg v zraku in vzorčenje morske vode okrog vulkanskih fumarol, Panarea, Italija, 17.–28. 5. 2023
56. Maria Laimou Geraniou, določanje novih psihoaktivnih snovi v vzorcih slovenskih odpadnih vod, Brisbane, Avstralija, 4. 5.–4. 6. 2023
57. Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, vzorčenje na Institutu za agronomijo in turizem v Poreču, Poreč, Hrvaška, 30. 1. 2023
58. Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, udeležba na konzorzijskem sestanku in okviru projekta BioSysmo, Sevilla, Španija, 28. 2.–3. 3. 2023
59. Aleš Lapanje, vabljen predavanje na konferenci IMAB23-International Congress on Metal-microbe applications for circular economy, Porto, Portugalska, 19.–22. 4. 2023
60. Aleš Lapanje, udeležba na zaključnem revizijskem sestanku GREENER projekta, Barcelona, Španija, 18.–20. 10. 2023
61. Sonja Lojen, udeležba na 21. konferenci INQUA, Rim, Italija, 13.–20. 7. 2023
62. Katarina Marković, udeležba na konferenci EcoBalt 2023 Chemicals & Environment, Talin, Estonija, 8.–13. 10. 2023
63. Radmila Milačić, udeležba na review konferenci za projekt EURAMET, Amsterdam, Nizozemska, 12.–14. 11. 2023
64. Rok Novak, udeležba na 18. Social Simulation konferenci in poletni šoli European Social Simulation Association Summer School in Social Simulation 2023, Aberdeen in Glasgow, Velika Britanija, 27. 8.–16. 9. 2023
65. Nives Ogrinc, Brina Pavlovič, udeležba na FishEUTrust delavnici, Mosta, Malta, 1.–4. 2. 2023
66. Nives Ogrinc, udeležba na sestanku projekta STELLAR, Groningen, Nizozemska, 7.–11. 5. 2023
67. Nives Ogrinc, Taja Verovšek, udeležba na ICCE 2023 konferenci, Benetke, Italija, 11.–16. 6. 2023
68. Nives Ogrinc, udeležba na končnem STELLAR sestanku, Teddington, Velika Britanija, 2.–5. 7. 2023
69. Nives Ogrinc, udeležba na EMN-FOOD network in projektne sestanku Food-MetNet, Bern, Švica, 5.–8. 9. 2023
70. Nives Ogrinc, udeležba na zaključnem sestanku FNS-Cloud, Bruselj, Belgija, 11.–13. 9. 2023
71. Nives Ogrinc, udeležba na Aquaculture Europe 2023 in predstavitev projekta FishEUTrust, Dunaj, Avstrija, 18.–22. 9. 2023
72. Nives Ogrinc, Cathrine Terro, obisk Barille (Parma) in udeležba na projektne sestanku FishEUTrust (Firenze), Parma in Firenze, Italija, 3.–11. 10. 2023
73. Nives Ogrinc, udeležba na DN22 Coordinator's Day of MSCA ITN projects (Bruselj, Belgija) in sestanek na Univerzi v Lillu, Lille, Francija (bilateralno sodelovanje PROTEUS), Bruselj in Lille, Belgija in Francija, 8.–13. 11. 2023
74. Brina Pavlovič, udeležba na M17 Consortium meeting v sklopu projekta FishEUTrust, Firenze, Italija, 8.–11. 10. 2023
75. Žan Rekar, udeležba na RECETOX Summer School, Brno, Češka Republika, 11.–17. 6. 2023
76. Tomaž Rijavec, udeležba na konzorzijskem sestanku projekta GREENER, Barcelona, Španija, 19.–22. 4. 2023
77. Leja Rován, udeležba na tečaju: Hands-on Training (HoT) on the Synthesis and Analytical Control of Radiopharmaceuticals, Lizbona, Portugalska, 16.–22. 7. 2023
78. Agneta Annika Runkel, udeležba na konferenci 12th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-12), Porto, Portugalska, 20.–25. 6. 2023
79. Janja Snoj Tratnik, udeležba na sestanku v sklopu PARC projekta, Bruselj, Belgija, 9.–11. 5. 2023
80. Janja Snoj Tratnik, vabljen predavanje in delavnice na 19th RECETOX summer school and WHO training, Brno, Češka republika, 14.–16. 6. 2023
81. Marko Štok, udeležba na projektne sestanku projekta A-CINCH, Magdeburg, Nemčija, 19.–21. 4. 2023
82. Marko Štok, udeležba na sestanku projekta SECURE, Rim, Italija, 26.–28. 4. 2023
83. Marko Štok, udeležba na konferenci RANC 2023, Budimpešta, Madžarska, 7.–12. 5. 2023
84. Marko Štok, udeležba na: A-CINCH Summer School on Nuclear Chemistry and Radiochemistry: Theory and Applications, Nikozija, Ciper, 12.–17. 6. 2023
85. Marko Štok, udeležba na zadnjem sestanku projekta A-CINCH, Lizbona, Portugalska, 29.–31. 8. 2023
86. Marko Štok, udeležba na EuChemS Annual Meeting, Larnaca, Ciper, 12.–15. 10. 2023
87. Marko Štok, udeležba na delavnici JCCW in EURAD CORI ter sestanek projekta EURAD CORI, Praga, Češka, 19.–24. 11. 2023
88. Janja Vaupotič, obisk v okviru projekta Radon Mapping and Radon Risk Assessment, Tbilisi, Gruzija, 14.–23. 5. 2023
89. Janja Vaupotič, obisk v okviru bilateralnega projekta BI-JP/23-25-002, Hiroshima in Kyoto, Japonska, 25. 6.–9. 7. 2023
90. Janja Vaupotič, udeležba na 16th International workshop GARRM on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Praga, Češka republika, 19.–22. 9. 2023
91. Taja Verovšek, udeležba na Training Session 4, Varšava, Poljska, 29. 1.–4. 2. 2023
92. Janja Vidmar, udeležba na ICCE 2023 konferenci, Benetke, Italija, 11.–15. 6. 2023
93. Polona Vreča, Klara Žagar, vabljen predavanje in udeležba na konferenci Water in Geosciences, Pisa, Italija, 1.–4. 3. 2023
94. Polona Vreča, udeležba na WATSON COST Action meeting in Water scarcity workshop, Dubrovnik, Hrvaška, 27. 3.–1. 4. 2023
95. Polona Vreča, udeležba na 28th IUGG General Assembly, konferenca, Berlin, Nemčija, 10.–20. 7. 2023
96. Polona Vreča, udeležba na WATSON COST Action ECG meeting, Porretta Terme, Italija, 26.–28. 9. 2023
97. Polona Vreča, udeležba na sestanku Consultancy Meeting on Isotope Variability of Rainfall for Assessing Climate Change Impacts, EVT2304659, Dunaj, Avstrija, 19.–24. 11. 2023
98. Tea Zuliani, udeležba na Second management board, progress meeting and stakeholder meeting of 21GRD09 MetroPOEM, As, Norveška, 26.–30. 6. 2023
99. Tea Zuliani, udeležba na Goldschmidt konferenci, Lyon, Francija, 9.–14. 7. 2023
100. Tea Zuliani, bilateralni obisk na Institutu Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 4.–8. 12. 2023
101. Dušan Žigon, udeležba na dogodku Waters Users Meeting 2023, Opatija, Hrvaška, 13. 6. 2023
102. Dušan Žigon, trening in izobraževanje raziskovalcev s področja masne spektrometrije, Tunis, Tunizija, 1.–13. 10. 2023
103. Igor Živković, udeležba na konferenci IEBS, Šibenik, Hrvaška, 22.–27. 5. 2023
104. Igor Živković, udeležba na konferenci RAP 2023, Anavysos, Grčija, 28. 5.–3. 6. 2023
105. Igor Živković, udeležba na CEM konferenci in delavnici, Barcelona, Španija, 18.–23. 9. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Agneta Annika Runkel, doktorsko usposabljanje: Izpostavljenost ljudi PFAS, Oddelek za poklicno in okoljsko medicino, Medicinska fakulteta, Lund, Švedska, 1. 11. 2022–31. 8. 2025
2. Anja Stajnik, doktorsko usposabljanje: Izpostavljenost toksičnim kemikalijam in tveganje za otroški rak med nosečnostjo; ocena izpostavljenosti in zdravja delavcev v industriji recikliranja odpadkov; s poudarkom na kovinah, Oddelek za poklicno in okoljsko medicino, Medicinska fakulteta, Lund, Švedska, 1. 11. 2022–31. 8. 2025
3. Žiga Tkalec, doktorsko usposabljanje: Vpliv izpostavljenosti kemikalijam na nastanek in napredovanje demence, Recetox, Fakulteta za znanosti, Masarykova univerza, Brno, Češka, 1. 8. 2022–30. 6. 2025
4. Agneta Annika Runkel, doktorsko usposabljanje: Kvantifikacija in karakterizacija mineralnih oljnih ogljikovodikov v hrani z uporabo tekočinsko-plinske kromatografije z detekcijo z ionsko plamenico (LC-GC-FID) in celovite dvodimenzionalne plinske kromatografije z masno spektrometrijo s časovnim poletom/detekcijo z ionsko plamenico (GCxGC-TOF/MS-FID), Tehnična univerza Danske, Skupina za analitsko kemijo živil, Danska, 1. 5. 2023–30. 4. 2024
5. Katja Babić in Anja Vehar, priprava vzorcev v specializiranih laboratorijih, San Michele all'Adige, Italija, 7. 5.–1. 6. 2023, 4.–30. 6. 2023, 2.–14. 7. 2023
6. Teodor Daniel Andron in Igor Živković, vzorčenje in medlaboratorijski primerjava, Rende, Italija, 10. 6.–2. 7. 2023
7. Neža Palir, 4. 4.–4. 7. 2023, Fakulteta za farmacevtske vede Univerze v Sao Paulu, vzorčenje rek v zvezni državi Para, Brazilija, pri čemer so bile aktivnosti razdeljene med USP, Ribeirão Preto, in lokacijo vzorčenja (MerFish projekt)
8. Helena Plešnik, Analiza bleomicina v celičnih vzorcih, AB Sciex UK, Macclesfield, Združeno kraljestvo, 6.–10. 11. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Raghuraj Singh Chouhan, Doctor of Biotechnology, University of Mysore
2. doc. dr. Ingrid Falnoga
3. dr. David John Heath
4. prof. dr. Ester Heath, znanstveni svetnik
5. **prof. dr. Milena Horvat, znanstveni svetnik - vodja odseka**
6. prof. dr. Radojko Jačimović
7. dr. Tjaša Kanduč
8. *Norbert Kavasi, PhD. Madžarska, odšel 1. 9. 2023*
9. dr. David Kocman
10. doc. dr. Davor Kontić
11. doc. dr. Tina Kosjek
12. doc. dr. Jože Kotnik
13. prof. dr. Aleš Lapanje
14. prof. dr. Sonja Lojen, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
15. dr. Darja Mazej
16. prof. dr. Radmila Milačič, znanstveni svetnik - pomočnik vodje odseka
17. dr. Griša Močnik*
18. prof. dr. Nives Ogrinc, znanstveni svetnik - pomočnik vodje odseka
19. doc. dr. Tomaž Rijavec
20. Tayebbeh Sharifi, PhD., Iran
21. prof. dr. Borut Smodiš, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
22. Janja Snoj Tratnik, univ. dipl. biol.
23. prof. dr. Janez Ščančar, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
24. *doc. dr. Zdenka Šlejkovec, upokojitev 1. 7. 2023*
25. doc. dr. Marko Štrok
26. prof. dr. Janja Vaupotič, znanstveni svetnik - vodja centra
27. dr. Janja Vidmar
28. dr. Polona Vreča
29. prof. dr. Tea Zuliani
30. dr. Dušan Žigon

Podoktorski sodelavci

31. *Anatolii Abalymov, PhD, Belgija, odšel 20. 8. 2023*
32. Ermira Begu, PhD.
33. dr. Jan Gačnik
34. dr. Marta Jagodic Hudobivnik
35. *dr. Ana Kovačič, začasna prekinitev 1. 11. 2022*
36. dr. Bor Krajnc
37. dr. Katarina Marković
38. dr. Stefan Marković
39. dr. Marjeta Mencin
40. dr. Doris Potočnik
41. dr. Leja Rovnan Stiplošek
42. *dr. Agneta Annika Runkel, začasna prekinitev 1. 5. 2023*
43. dr. Anja Stajnko
44. dr. Lidija Strojnik
45. dr. Žiga Tkalec
46. dr. Igor Živković

Mlajši raziskovalci

47. Saeed Waqar Ali, MSc., Pakistan
48. Eirini Andreasidou, MSc., Grčija
49. *Teodor-Daniel Andron, Msc., Romunija, odšel 1. 9. 2023*
50. Katja Babič, mag. inž. živ.
51. *Dominik Božič, mag. ekotehnol., odšel 16. 10. 2023*
52. Pia Leban, mag. san. inž.
53. *Jasmina Masten Rutar, mag. inž. živ., odšla 15. 11. 2023*
54. dr. Rok Novak
55. Neža Palir, mag. lab. biomed.
56. Brina Pavlovič, mag. inž. živ.
57. Žan Rekar, mag. farm.
58. Janko Stankič, mag. lab. biomed.
59. Cathrine Terro, Msc., Italija
60. Anja Vehar, mag. inž. kem. inž.
61. dr. Taja Verovšek
62. Sreekanth Vijayakumaran Nair, Msc., Indija
63. Maja Zupan, mag. mikrobiol.
64. Klara Žagar, mag. inž. geol.
65. Tjaša Žerdoner, mag. kem.

Strokovni sodelavci

66. Jure Ftičar, dipl. pol. (UN)
67. Polona Klemenčič, mag. ekotehnol.
68. Karolina Trentelj, dipl. ekon. (VS)
69. Vanja Usenik, Bolonjski študij II. stopnja
70. Tina Vrabec, dipl. trž. kom. (UN)
71. Tehniški in administrativni sodelavci
72. Barbara Svetek, inž. kem. tehnol.
73. Stojan Žigon

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Academia Sinica, Peking, Kitajska
2. Aerosol, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. AFNOR, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis Cedex, Francija
4. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Ministrstvo za okolje in kmetijstvo
5. Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO), Ljubljana, Slovenija
6. AGH University of Science and Technology, Krakov, Poljska
7. Agricultural Cooperatives Union of Naxos S.A., Grčija
8. Agroscope (Reckenholz), Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Švica
9. Algen d.o.o., Ljubljana, Slovenija
10. Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazahstan
11. Aristotle University of Thessaloniki, Solun, Grčija
12. Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Environmental Research, Kirrawee DC, NSW, Avstralija
13. BAM, Federal Institute for Material Research and Testing, Berlin, Nemčija
14. CDTN/CNEN (Nuclear Technology Development Centre/Brazilian Commission for Nuclear Energy), Belo Horizonte, Brazilija
15. Centralna čistilna naprava Domžale Kamnik, Slovenija
16. Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN), Rabat, Maroko
17. Centro Atómico Bariloche, Argentina
18. Chalmers University, Gothenburg, Švedska
19. CINKARNA, Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
20. CNR Institute for Biomedical Technology, University of Padova, Italija
21. CSIC, Barcelona, Španija
22. Department of Cell Biology and Neuroscience, Istituto Superiore di Sanità, Rim, Italija
23. Department of Chemistry, University of Zürich, Zürich, Švica
24. Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
25. Droga Kolinska, d. d., PE Rogaški vrelci, Rogaška Slatina, Slovenija
26. EAWAG, Dübendorf, Švica
27. EFB, Warrington, Velika Britanija
28. ESOTECH d.d., Velenje, Slovenija
29. European Atomic Energy Community (EURATOM)
30. European Association of National Metrology Institutes (EURAMET)
31. Faculty of Geography, M. V. Lomonosov Moscow State University, Ruska federacija
32. Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovaška
33. Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, Italija
34. Food and Environmental Research Agency, York, Velika Britanija
35. Free University of Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
36. Free University of Brussels, Bruselj, Belgija
37. GEN energija, d. o. o., Krško, Slovenija
38. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana
39. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
40. German Federal Institute for Risk Assessment, Berlin, Nemčija
41. Ghent University, Ghent, Belgija
42. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
43. Guizhou Science Academy, Guiyang, LR Kitajska
44. Hahn-Meitner Institut, Berlin, Nemčija
45. Hasselt University, Hasselt, Belgija
46. Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
47. HGEM, d. o. o., Zaloška 143, Ljubljana, Slovenija
48. Hiroshima University, Hiroshima, Japonska
49. Hrvaški geološki zavod, Zagreb, Hrvaška
50. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
51. IMBIH - Institute of Metrology of Bosnia and Herzegovina
52. IMMT, Inštitut za metagenomiko in mikrobne tehnologije, Ljubljana
53. INIA, Madrid, Španija
54. Inštitut za oceanografijo in ribištvo, Split, Hrvaška
55. Inštitut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
56. Inštitut za javno zdravje Črne gore, Podgorica, Črna gora
57. Institute for Geological and Geochemical Research (IGGR), Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Hungarian Academy of Sciences, Budimpešta, Madžarska
58. Institute for Nuclear Research (ATOMKI), Debrecen, Madžarska
59. Institute of Chemistry, Faculty of Science, SS. Cyril and Methodius University, Skopje, Makedonija
60. Institute of Marine Research, Bergen, Norveška
61. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Trst, Italija
62. Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Italija
63. Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), Barcelona, Španija
64. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Varšava, Poljska

65. Institute of Physics, Beograd, Srbija
66. Institute of Agriculture and Tourism, Poreč, Hrvatska
67. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
68. IAEA Environmental Laboratories, Monako
69. IOS – Inštitut za okoljevarstvo in senzorje, Maribor
70. IPEN-CNEN/SP (Nuclear and Energy Research Institute – Brazilian Commission for Nuclear Energy), Sao Paulo, Brazilija
71. IRGO Consulting, d. o. o., Ljubljana
72. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Rim, Italija
73. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Sezione di Palermo, Italija
74. Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, M. Nodia Institute of Geophysics, Tbilisi, Gruzija
75. Javno podjetje vodovod kanalizacija Snaga, d. o. o. (JP VOKA SNAGA, d. o. o.), Ljubljana
76. Jata Emona, d. o. o., Ljubljana
77. Joint Research Centre, Geel (JRC-Geel), Belgija
78. Joint Research Centre, Ispra, Italija
79. Jordan Atomic Energy Commission (JAEC), Jordan Research and Training Reactor (JTRT), Amman, Jordanija
80. Karl Franzens Universität Graz, Avstrija
81. Kemijski inštitut, Ljubljana
82. Kmetijski inštitut Slovenije
83. Komunala Novo mesto, Slovenija
84. Komunala Velenje, Slovenija
85. Krka, d. d., Novo mesto, Slovenija
86. KTH Royal Institute of Technology, Land & Water Resources Engineering, Švedska
87. Laboratorio de Radioisotopos Eduardo Penna Franca, Instituto de Biofisica Carlos Chagas Filho, Centro de Ciencias da Saude, UFRJ, Rio de Janeiro, Brazilija
88. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana
89. LGC, Teddington, Velika Britanija
90. Ljubljanske mlekarne, d. o. o., Ljubljana
91. Maastricht University, Maastricht, Nizozemska
92. Madžarska akademija znanosti, Institut za geologijo in geokemijo, Budimpešta, Madžarska
93. Malmö University, Malmö, Švedska
94. Masaryk University, Brno, Češka
95. Mendel University in Brno, Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Češka
96. MEIS, d. o. o., Grosuplje, Slovenija
97. Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije
98. Mlekarna Planika, d. o. o., Kobarid, Slovenija
99. Mestna občina Ljubljana, Ljubljana
100. N. P. Ogarev's Mordovian State University, Rusija
101. Nacionalni inštitut za biologijo (NIB), Morska biološka postaja (MBP), Piran, Slovenija
102. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
103. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, NLZOH, Maribor, Slovenija
104. National Institute for Minamata Disease, Kogashima, Japonska
105. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, Nizozemska
106. National Institute of Environmental Studies, Tsukuba, Japonska
107. National Institute of Radiological Sciences, Inage, Chiba, Japonska
108. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, ZDA
109. NIMD – National Institute for Minamata Disease, Minamata, Japonska
110. NMI Van Swinden Laboratorium B.V., Delft, Nizozemska
111. NPL Management Limited, Združeno kraljestvo
112. Nuklearna elektrarna Krško (NEK), Slovenija
113. Odessa National Polytechnic University, Department of Theoretical and Experimental Nuclear Physics, Odessa, Ukrajina
114. Onkološki inštitut Ljubljana
115. Premogovnik Velenje, d. d., Velenje
116. QuantiSci Ltd., Henley on Thames, Združeno kraljestvo
117. Queen Mary University of London, London, Združeno kraljestvo
118. RECETOX Research Centre for Toxic Compounds in the Environment, Brno, Češka
119. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Trst, Italija
120. Rudnik Mežica, d. o. o., Mežica
121. Rudnik Žirovski vrh
122. Saratovski gosudarstveni universitet imeni N.G. Černiševskega, SGU, Rusija
123. Salonit, Anhovo
124. Seconda Università degli Studi di Napoli, Napoli, Italija
125. Skoltech - Skolkovo Institute of Science and Technology, Moskva, Rusija
126. Slovenska akreditacija, Ljubljana
127. Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), Ljubljana
128. Steklarna Hrastnik, d. o. o., Hrastnik
129. Stockholm University, Stockholm, Švedska
130. Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ)
131. Termoelektrarna Toplarna Ljubljana
132. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Danska
133. The South African Nuclear Energy Corporation (Nesca) Research & Development, Južna Afrika
134. The University of Texas, El Paso, ZDA
135. Tomsk Polytechnic University, Rusija
136. Trent University, Peterborough, Kanada
137. TÜBİTAK UME, Gebze-Kocaeli, Turčija
138. UMIST Manchester, Združeno kraljestvo
139. United Nations Environment Programme (UNEP), Ženeva, Švica
140. Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Patologia e Medicina Sperimentale e Clinica, Udine, Italija
141. Université catholique de Louvain, Groupe de Recherche en Physiologie végétale (GRPV), Louvain-la-Neuve, Belgija
142. Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
143. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
144. University of Balearic Islands, Palma de Mallorca, Španija
145. University of Burgos, Burgos, Španija
146. University of Ghana, Accra, Gana
147. University of Pisa, Italija
148. University of Leoben, Leoben, Avstrija
149. University of Lille, Lille, Francija
150. University of Lisbon, Lizbona, Portugalska
151. University of Mining and Metallurgy, Krakov, Poljska
152. University of Munich, Department of Geography, Munich, Nemčija
153. University of Padova, Padova, Italija
154. University of Pannonia, Veszprém, Madžarska
155. University of Parma, Parma, Italija
156. University of Reno, Nevada, ZDA
157. University of Pau, Pau, Francija
158. University of Turin, Torino, Italija
159. University of Udine, Unit of Hygiene and Epidemiology, School of Medicine, Italija
160. University of Utah, Salt Lake City, ZDA
161. University of Wrocław, Poljska
162. University of Zaragoza, Zaragoza, Španija
163. University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica, Črna gora
164. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
165. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
166. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
167. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
168. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
169. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
170. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za zdravstvene vede
171. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
172. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo
173. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta
174. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Fakulteta za strojništvo
175. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
176. Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija
177. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
178. Univerza v Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftna fakulteta in Fakulteta za agronomijo, Zagreb, Hrvaška
179. Univerzitetni klinični center Ljubljana (UKCL), Slovenija
180. Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV), Ministrstvo za okolje in prostor
181. Uprava Republike Slovenije za kemikalije, Ministrstvo za zdravje
182. Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji (URSVS), Ministrstvo za zdravje
183. Urad Republike Slovenije za meroslovje (MIRS), Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
184. Ural Scientific Research Institute for Metrology (UNIIM), Ekaterinburg, Rusija
185. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
186. Vinča Institute of Nuclear Sciences, Beograd, Srbija
187. Vodovod Kanalizacija LCC, Podgorica, Črna gora
188. Wageningen University, Wageningen, Nizozemska
189. Zavod Republike Slovenije za varstvo pri delu (ZVD), Ljubljana
190. Zdravstveni inšpektorat Republike Slovenije
191. ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje Krasa, Postojna in Geografski inštitut Antona Melika, Ljubljana
192. Premogovnik Velenje, d. d., Velenje
193. QuantiSci Ltd., Henley on Thames, Združeno kraljestvo
194. Queen Mary University of London, London, Združeno kraljestvo
195. RECETOX Research Centre for Toxic Compounds in the Environment, Brno, Češka
196. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Trst, Italija
197. Rudnik Mežica, d. o. o., Mežica
198. Rudnik Žirovski vrh
199. Saratovski gosudarstveni universitet imeni N.G. Černiševskega, SGU, Rusija
200. Salonit, Anhovo
201. Seconda Università degli Studi di Napoli, Napoli, Italija
202. Skoltech – Skolkovo Institute of Science and Technology, Moskva, Rusija
203. Slovenska akreditacija, Ljubljana
204. Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), Ljubljana
205. Steklarna Hrastnik, d. o. o., Hrastnik
206. Stockholm University, Stockholm, Švedska
207. Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ)
208. Termoelektrarna Toplarna Ljubljana
209. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Danska
210. The South African Nuclear Energy Corporation (Nesca) Research & Development, Južna Afrika

211. The University of Texas, El Paso, ZDA
212. Tomsk Polytechnic University, Rusija
213. Trent University, Peterborough, Kanada
214. TÜBİTAK ÜME, Gebze-Kocaeli, Turčija
215. UMIST Manchester, Združeno kraljestvo
216. United Nations Environment Programme (UNEP), Ženeva, Švica
217. Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Patologia e Medicina Sperimentale e Clinica, Udine, Italija
218. Université catholique de Louvain, Groupe de Recherche en Physiologie végétale (GRPV), Louvain-la-Neuve, Belgija
219. Université Pierre et Marie Curie, Paris, Francija
220. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
221. University of Balearic Islands, Palma de Mallorca, Španija
222. University of Burgos, Burgos, Španija
223. University of Ghana, Accra, Gana
224. University of Pisa, Italija
225. University of Leoben, Leoben, Avstrija
226. University of Lille, Lille, Francija
227. University of Lisbon, Lizbona, Portugalska
228. University of Mining and Metallurgy, Krakov, Poljska
229. University of Munich, Department of Geography, Munich, Nemčija
230. University of Padova, Padova, Italija
231. University of Pannonia, Veszprém, Madžarska
232. University of Parma, Parma, Italija
233. University of Reno, Nevada, ZDA
234. University of Pau, Pau, Francija
235. University of Turin, Torino, Italija
236. University of Udine, Unit of Hygiene and Epidemiology, School of Medicine, Italija
237. University of Utah, Salt Lake City, ZDA
238. University of Wrocław, Poljska
239. University of Zaragoza, Zaragoza, Španija
240. University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica, Črna gora
241. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
242. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
243. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
244. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
245. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
246. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
247. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za zdravstvene vede
248. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
249. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo
250. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta
251. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Fakulteta za strojništvo
252. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
253. Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija
254. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
255. Univerza v Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftna fakulteta in Fakulteta za agronomijo, Zagreb, Hrvaška
256. Univerzitetni klinični center Ljubljana (UKCL), Slovenija
257. Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV), Ministrstvo za okolje in prostor
258. Uprava Republike Slovenije za kemikalije, Ministrstvo za zdravje
259. Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji (URSVS), Ministrstvo za zdravje
260. Urad Republike Slovenije za meroslovje (MIRS), Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
261. Ural Scientific Research Institute for Metrology (UNIIM), Ekaterinburg, Rusija
262. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
263. Vinča Institute of Nuclear Sciences, Beograd, Srbija
264. Vodovod Kanalizacija LCC, Podgorica, Črna gora
265. Wageningen University, Wageningen, Nizozemska
266. Zavod Republike Slovenije za varstvo pri delu (ZVD), Ljubljana
267. Zdravstveni inšpektorat Republike Slovenije
268. ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje Krasa, Postojna in Geografski inštitut Antona Melika, Ljubljana

ODSEK ZA AVTOMATIKO, BIOKIBERNETIKO IN ROBOTIKO E-1

Raziskave na Odseku za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (<http://abr.ijs.si/>) združujejo področja robotike (vključujoč inteligentno vodenje, humanoidno in kognitivno robotiko, robotsko učenje in robotski vid), industrijske robotike in avtomatike, tovarn prihodnosti, biokibernetike, kineziologije, ergonomije in okoljske medicine. Skupni imenovalec naših raziskovalnih prizadevanj je optimizacija delovanja človeka in stroja, pri čemer vedno upoštevamo vpliv okolja. Dodatna stična točka so raziskave na področju sodelovanja človeka in robota. Raziskovalna strategija odseka se odlikuje po tem, da poleg raziskav na specialnih področjih vsebuje tudi več multi- in interdisciplinarnih projektov. Rezultati povezovanja tehnoloških in kliničnih raziskav so uspehi na različnih področjih, kot so učenje robotskih veščin s posnemanjem in globokimi nevronske mreže, simulacija planetarnega habitata, rekonfigurabilne robotske celice za industrijska okolja, humanoidni robotski sistemi, eksoskeleti, manikini za vrednotenje industrijskih, vojaških in rekreacijskih oblačilnih sistemov ter metode za fizično sodelovanje med človekom in robotom.



Vodja:

prof. dr. Aleš Ude

V okviru odseka deluje programska skupina Avtomatika, robotika, biokibernetika. Naši raziskovalci sodelujejo v številnih evropskih projektih s področja robotike, kognitivnih sistemov, tovarn prihodnosti, zdravja in vesoljskih tehnologij. Tako na primer v sodelovanju z Evropsko vesoljsko agencijo izvajamo program za preprečevanje adaptacije fizioloških sistemov na breztežnost. V Obzorju 2020 koordiniramo evropski projekt ReconCycle, ki se nanaša na razvoj adaptivnih in rekonfigurabilnih robotskih sistemov. Stalno smo aktivni tudi pri prenosu rezultatov naših raziskav v industrijske aplikacije, kar izvajamo v sodelovanju z industrijskimi partnerji, od leta 2023 pretežno v okviru dolgoročnega programa DIGITOP.

Rezultat vzdrževanja kritične mase raziskovalcev na različnih znanstvenih področjih v sklopu odseka so številni interdisciplinarni projekti na različnih znanstvenih področjih.

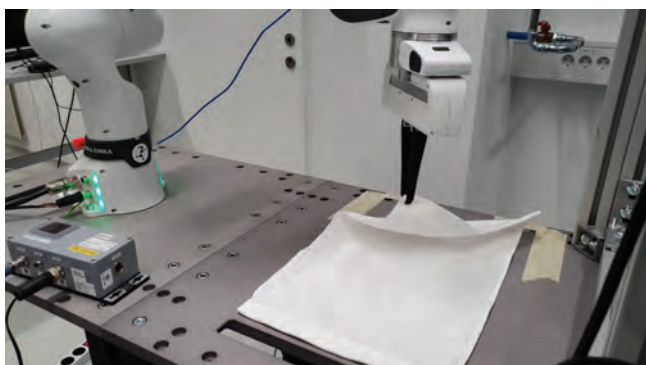
Raziskave na področju humanoidne in kognitivne robotike ter robotskega učenja se izvajajo predvsem v Laboratoriju za humanoidno in kognitivno robotiko (<https://hcr.ijs.si>), ki deluje v okviru našega odseka. Cilj laboratorija je razvoj robotov, ki znajo samostojno pridobivati nova znanja in sodelovati z ljudmi v naravnih okoljih. Na odseku deluje tudi Laboratorij za nevromehaniko in biorobotiko (<https://nbr.ijs.si>). Poslanstvo laboratorija je v uporabi integralnega pristopa biomehanike, neurofiziologije in robotike za raziskave človekove motorične kontrole ter v razvoju robotskih naprav, ki pomagajo človeku.

Glavni poudarek naših raziskav v preteklem letu je bil na razvoju novih strategij robotskega učenja, kjer se opiramo predvsem na kinestetično vodenje, spodbujevalno učenje in globoke nevronske mreže, na razvoju robotskih pomagal, kot so eksoskeleti, razvoju novih metod za sodelovanje človeka z robotom, rekonfigurabilnih robotskih celic za tovarne prihodnosti, problematiki avtomatizacije industrijskih proizvodnih sistemov, razvoju modelov človeškega gibanja ter na študiji fizioloških značilnosti človeka v različnih ekstremnih okoljih, ovrednotenju zaščitne opreme in razvoju novih biomedicinskih metod.

Robotika

V letu 2023 smo nadaljevali naše delo v evropskem projektu iz Obzorja 2020 ReconCycle (Samodejna rekonfiguracija robotske celice za reciklažo elektronskih izdelkov, <http://www.reconcycle.eu>), ki ga naša skupina tudi koordinira. Glavni cilj projekta je uvedba rekonfigurabilne strojne opreme in adaptivnih robotskih sistemov v postopek reciklaže elektronskih izdelkov. Pri tem se opiramo na rezultate projekta ReconCell (<http://www.reconcell.eu/>), ki smo ga prav tako koordinirali na našem odseku. Glavni izziv projekta je razvoj metodologij za samodejno rekonfiguracijo robotskih celic, vključno z določanjem optimalne lege robotov in drugih komponent celice ter izbira primernih orodij in senzorjev. Pri projektu obravnavamo še razvoj novih metod za hitro (re)programiranje in adaptacijo robotskih operacij za mehke robote in razvoj mehkih prijemalk, ki so primerne za recikliranje elektronskih izdelkov. Z mehкими komponentami poenostavimo prijemanje in podajno vodenje robotov, vendar pa je njihova uporaba lahko problematična pri nalogah, ki zahtevajo natančno vodenje,

Pri projektu iz Obzorja 2020 ReconCycle, ki ga koordiniramo, nameravamo bistveno povečati avtomatizacijo reciklaže elektronskih izdelkov z uvedbo novih tehnologij robotskega učenja.



Slika 1: Robotsko zlaganje prta

na primer naloge sestavljanja. Ker pa visoka natančnost ni odločilnega pomena pri nalogah razstavljanja, saj v tovrstnih nalogah fizične omejitve vodijo podajno robotsko gibanje v pravo smer, so mehke komponente kljub temu koristne pri reciklaži elektronskih izdelkov in prispevajo k uspešni izvedbi razstavljanja elektronskih izdelkov.

V ARIS projektu Robotsko pregledovanje in manipulacija tekstila in tkanin – RTFM (<https://abr.ijs.si/rtfm/>) razvijamo metodologije ravnanja z deformabilnimi materiali s poudarkom na tekstilu. To je pomembno področje raziskav robotike, ki se uporablja tako v industriji kot v domovih. Kljub temu je napredek pri robotski manipulaciji takih deformabilnih predmetov zaostajal za delom na togih objektih zaradi veliko bolj zapletene dinamike in prostora stanj deformabilnih objektov. V sodelovanju s Fakulteto za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani razvijamo

pristope, s katerimi bomo tekstil najprej segmentirali in karakterizirali, nato pa ga učinkovito manipulirali proti vnaprej določenemu ciljnemu stanju, na primer zloženi srajci. Leta 2023 smo razvili in preizkusili pristope **vid-v-gibanje**, ki učinkovito sploščijo brisačo, in **učne pristope za zlaganje tekstila** v simulaciji. Naše delo nadaljujemo v smeri avtonomne robotske celice za pregled in zlaganje tekstila.

V letu 2023 smo uspešno zaključili projekt SWITCH (Učenje z menjavo vlog pri fizičnem sodelovanju med človekom in robotom), ki je bil izveden v sodelovanju z Idiapom v Švici in sofinanciran s strani SNSF (<https://switch-project.github.io/>). Glavni cilj projekta SWITCH v zadnjem letu je bil razvoj inovativnega pristopa k vodenju humanoidnih robotov, ki omogoča učinkovito prilagajanje človeškim partnerjem. To smo demonstrirali z eksperimentom, v katerem smo s pomočjo humanoidnega robota ponudili asistenco pri vstajanju. Analiza zbranih podatkov nam je omogočila oblikovanje modelov, ki natančno opisujejo **vedenje tako asistiračnega agenta**

kot osebe, ki prejema pomoč. Ti podatki so bili ključnega pomena za nadaljnji razvoj novega kvazi pasivnega mehanizma, za katerega smo pridobili tudi patent pri Slovenskem uradu za patente. Integracija tega mehanizma v kolenski eksoskelet je bila izvedena, sledila je ocena njegove praktične uporabe.

Razvili smo nov kvazi pasiven mehanizem, ki smo ga patentirali in vgradili v kolenski eksoskelet.

Pri projektu BodyCoM – Dinamična večkontaktna interakcija celega telesa za izboljšanje natančnosti manipulacije (<http://cobotat.ijs.si/projects/bodycom/>) – smo v letu 2023 raziskali, kako lahko z izkoriščanjem fizične interakcije s strukturo robota, na primer z naslanjanjem komolca na okolico, izboljšamo natančnost manipulacije. V okviru tega projekta smo razvili **novo metodo za kalibracijo kolaborativnih robotov**, ki izkorišča fizične kontakte, kar omogoča kalibracijo brez uporabe drage in natančne opreme. Naše inovativne metode vodenja humanoidnih

robotov in izkoriščanje fizičnih interakcij bodo nedvomno prispevale k napredku v sodelovanju med človekom in robotom, kar odpira nove možnosti za natančno manipulacijo in tekoče sodelovanje med človekom in roboti v prihodnosti.

V letu 2023 smo nadaljevali naše delo na področju učenja robotskih nalog, kjer je robot v kontaktu z okoljem. Originalni pristop smo znotraj nadgradili s formalizacijo v obliki **večnivojske hierarhične sheme učenja**. Na zgornjem hierarhičnem nivoju z uporabo vzpodbujevalnega učenja določimo optimalno strategijo za nalogo, ki jo formaliziramo z zapisom v obliki usmerjenih grafov. Srednji hierarhični nivo je namenjen avtonomnemu določanju grafov s pomočjo raziskovanja, najnižji nivo pa je algoritem vodenja, ki se samostojno prilagaja omejitvam v okolju. Nadalje smo se ukvarjali z algoritmi, ki zagotavljajo robustnost predhodno naučenih postopkov sestavljanja in razstavljanja. Glavni izziv je bil, kako zagotoviti nemoteno izvajanje naloge, pri čemer se lahko obdelovanec med postopkom sestavljanja premika, tega premika pa ne moremo zaznavati s senzorji.

Na področju robotskega učenja po kurikulumu smo obravnavali pospešeno pridobivanje sposobnosti robotske manipulacije. Naše raziskave so bile osredotočene predvsem na večciljno spodbujevalno učenje, pri čemer smo oblikovali več nagradnih funkcij in spreminjali njihove uteži glede na uspešnost agenta pri opravljanju naloge s **pomočjo več algoritmov za učenje po kurikulumu**. Za evalvacijo učinkovitosti našega pristopa smo implementirane algoritme uporabili za učenje naloge prijetanja in odlaganja. Pokazali smo, da lahko učenje po kurikulumu z uteževanjem



Slika 2: JSI-KneExo, kolenski eksoskelet, ki lahko deluje v aktivnem ali pasivnem načinu.

nagrad doseže skoraj 100-odstotno stopnjo uspešnosti v manj kot 4 urah interakcije z okoljem, kar je znatno izboljšanje v primerjavi z nekaterimi drugimi metodami, ki jim naloge ni uspelo rešiti niti po 16 urah učenja.

V letu 2023 smo začeli delati na novem EU projektu SWAG – Soft Wearable Assistive Garments for Human Empowerment (<https://swag-project.eu>) v sodelovanju z dvanajstimi drugimi raziskovalnimi in industrijskimi partnerji. Projekt si prizadeva nadomestiti tradicionalne toge materiale, trenutno uporabljene v eksoskeletih, z visoko zmogljivimi, napihljivimi tkaninami in senzorskimi filmi, da ustvari pametna, človeku v pomoč, mehka in lahka oblačila. Naša glavna vloga pri projektu bo ocenjevanje učinkovitosti novorazvitega prototipa eksoskeleta SWAG.

Še en projekt iz Obzorja Evropa, ki smo ga začeli izvajati v preteklem letu, je DS4Health (<https://www.digitalskills4health.eu>). V okviru projekta bomo oblikovali in izvajali **mednarodni magistrski program na področju digitalnega zdravja**. Cilj je zagotoviti visokošolsko izobrazbo za zdravstvene strokovnjake na področju digitalnih veščin ter poglobiti vpogled v oblikovanje, uporabo in razvoj digitalnih tehnologij za oblikovanje sodobnega, etično odgovornega, učinkovitega in na državljane osredotočenega zdravstva. Kot eden izmed raziskovalnih inštitutov bomo študentom zagotovili praktično usposabljanje v naprednih tehnologijah z jasnim pogledom na digitalno transformacijo zdravstva v smeri kliničnega digitalnega ekosistema.

V našem raziskovanju motoričnega učenja proučujemo, kako različne vrste napak vplivajo na učenje in prilagajanje. Raziskali smo vpliv kombinacij vizualnih in proprioceptivnih perturbacij ter informacij o napakah na proces motoričnega učenja, vlogo vsakdanjih izkušenj na izboljšanje motoričnega učenja in učinkovitost različnih strategij učenja, zlasti haptičnega vodenja. Poleg tega smo proučevali **dekodiranje nevronske korelatore obdelave napak pri kompleksnih motoričnih nalogah**, pri čemer smo eksperimentalno ločili nizkonivojske in visokonivojske strateške napake, da bi analizirali vpliv zaznave nizkonivojskih napak na obdelavo napak na visoki ravni, pri čemer smo uporabili nadzorovano paradigmo rotacije vizuomotorike. Rezultati kažejo, da lahko natančno razlikujemo vrste napak in da obdelava nizkonivojskih napak vpliva na povratne signale. Ugotovili smo pomembno vlogo superiornega parietalnega korteksa pri obdelavi napak na visoki ravni. Naše ugotovitve nakazujejo potencial za uporabo specifičnih implicitnih povratnih signalov za prilagodljive vmesnike med možgani in stroji, ki temeljijo na zaznanih napakah.

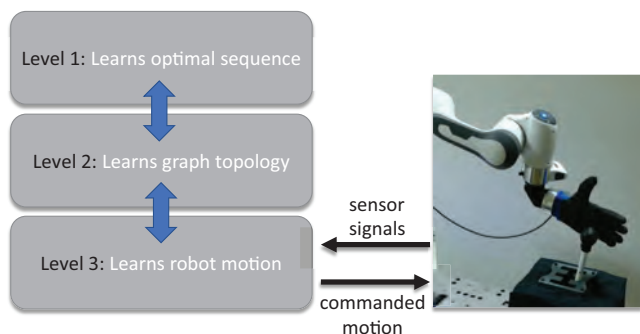
Avtomatizacija in industrijska robotika

V letu 2023 smo začeli izvajati nov dolgoročni raziskovalni program DIGITOP – Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti (<https://digitop.info>), ki ga koordiniramo na našem odseku. DIGITOP je namenjen uvajanju naprednih digitalnih tehnologij, kot so robotika, umetna inteligenca (UI), Industrija 4.0 in 5.0, v proizvodna podjetja za avtomatizacijo in optimizacijo proizvodnih procesov. Program vključuje devet raziskovalno-razvojnih projektov (RRp), ki so na različnih stopnjah tehnološke pripravljenosti, in se osredotoča na **tematiko digitalnega prehoda in strateške avtonomije**. Cilj programa je ohranjanje industrijske proizvodnje v Sloveniji in EU, pri čemer sodelujejo raziskovalne organizacije in industrijski partnerji, ki podpirajo raziskave z lastnimi viri.

V letu 2023 smo začeli izvajati dva nova projekta iz Obzorja Evropa; SWAG s področja mehkih eksoskeletov in DS4HEALTH, kjer razvijamo nov izobraževalni program.



Slika 3: Sodelovanje človeka s humanoidnim robotom, kjer humanoidni robot pomaga človeku pri vstajanju.



Slika 4: Hierarhična shema za učenje robotskih nalog v kontaktu z okoljem



Slika 5: Avtonomno učenje sestavljanja in razstavljanja avtomobilske luči



Slika 6: Petnožni plezajoči robot za delo na vrtni

V letu 2023 smo nadaljevali delo pri projektu Stellaverde, kjer smo se ukvarjali z dizajnom in izdelavo petnožnega plezajočega robota ter z razvojem in implementacijo mehanskih komponent, kontrolnih algoritmov, algoritmov za izračun kinematike in dinamike robota, načrtovanja poti ter izdelavo celotne aplikacije, ki omenjene algoritme združi in poveže v zaključeno, delujočo celoto. V letu 2023 smo robota predstavili na dveh razstavah: prva je bila razstava Konsekvence marca 2023 v galeriji Cukrarna, druga pa Ars-Electronica septembra 2023 v Linzu. V okviru obeh razstav je robot deloval približno 8 ur na dan, v tem času pa opravljal svoje delo – z vodo oskrboval rastline, ki rastejo na vertikalnem vrtni (zelenem zidu), po katerem robot pleza.

V okviru Strateškega raziskovalno-inovacijskega partnerstva Tovarne prihodnosti (SRIP ToP) predsedujemo Upravnemu odboru SRIP ToP in koordiniramo SRIP ToP Horizontalno mrežo (omogočitveno tehnologijo) Robotika, s čimer podpiramo **uvajanje naprednih robotskih tehnologij v pametne tovarne**. V letu 2023 smo še naprej izvajali program,

katerega namen je spodbujati sodelovanje proizvodnih podjetij z raziskovalnimi organizacijami ter prenos znanj in novih robotskih tehnologij v industrijsko prakso.

Okoljska fiziologija in ergonomija

Raziskave naravoslovnih znanosti na našem oddelku se osredotočajo na fiziologijo in patofiziologijo ljudi v ekstremnih okoljih. Prispevamo k razvoju novih strategij in opreme za ublažitev učinkov okoljskih dejavnikov na zdravje in počutje ljudi ter za povečanje varnosti in produktivnosti delavcev v industrijskih, vojaških in vesoljskih okoljih.

Protiukrepi za bodoče vesoljske misije: Inštitut "Jožef Stefan" vzdržuje raziskovalni center Evropske vesoljske agencije (ESA) Planetary Habitat Simulation (PlanHab) v Planici (Rateče, Slovenija). V okviru projekta BRAVE (Bed Rest Artificial gravity and Vibration Exercise), ki ga financira ESA, ocenjujemo učinkovitost vibracijske vadbe (RVE) v kombinaciji z umetno gravitacijo kot potencialnega protiukrepa za preprečevanje izgube mišične in kostne mase med misijami na Mars.

Kot uvod v projekt ESA BRAVE, ki se je začel septembra 2022, smo se v letu 2023 osredotočili na več vprašanj, ki jih je bilo treba rešiti pred začetkom tega projekta. Te projekte je podprla ESA:

- i. *Vpliv vibracijske vadbe na aktivacijo mišic.* Z magnetno resonanco (MRI) smo ovrednotili učinek vibracije med izvajanjem vadbe z mišicami spodnjih okončin na aktivacijo mišic. Študijo smo opravili v sodelovanju z Inštitutom za klinično fiziologijo Medicinske fakultete (Univerza v Ljubljani).
- ii. *Prenos vibracij po telesu.* Ocenili smo prenos vibracij od stopal do glave, da bi lahko predvideli morebitne negativne učinke vibracije na različne dele telesa oziroma organov. Na ta način smo določili optimalne in varne frekvence za vibracijsko vadbo. Ta študija je potekala v sodelovanju s Fakulteto za šport Univerze v Ljubljani.
- iii. *Naprava za vibracijsko vadbo.* S partnerjem Mak, d. o. o., smo zasnovali in izdelali novo vadbena napravo, ki je sposobna posnemati gravitacijske sile, ki nastanejo med RVE na človeški centrifugi.
- iv. *Vadbeni program za trening z vibracijsko vadbo (RVE).* Razvili smo vadbeni program za vibracijsko vadbo, ki bi ga lahko uspešno izvajali udeleženci projekta ESA BRAVE med 60-dnevnim ležanjem v postelji. Vadbeni program je odobril svetovni odbor ESA.
- v. *Študija izvedljivosti (FAVE).* Ovrednotili smo praktičnost vadbene programa oziroma ali se lahko izvaja dnevno za dva tedna ter logistiko izvajanja vadbene programa. Preizkusili smo izvedljivost programa z udeleženci, ki so med dvotedenskim programom vadbe izvajali program vadbe (iv) z umetno gravitacijo (tj. na človeški centrifugi s kratko roko). Rezultate smo primerjali z rezultati udeležencev, ki so sodelovali v podobnem dvotedenskem programu usposabljanja (iv), vendar so izvajali RVE v pokončnem položaju. V obeh študijah smo uporabili vibracije, določene v predhodni raziskavi (i).
- vi. *Študija izvedljivosti 2 (FAVE 2).* Po izdelavi nove naprave za vibracijsko vadbo v vodoravni legi (iii) smo izvedli drugo študijo izvedljivosti (FAVE 2). Z uporabo enakega protokola kot v študiji FAVE (v) smo primerjali rezultate skupine preiskovancev, ki je izvajala vibracijsko vadbo v pokončnem položaju, z rezultati skupine, ki je vadbo izvajala s prototipom nove naprave za vibracijsko vadbo.
- vii. *Energetska poraba med izvajanjem vibracijske vadbe (RVE).* Za določitev ustrezne prehrane med ESA BRAVE projektom smo določili porabo kisika pri izvajanju RVE na človeški centrifugi in na prototipni vadbeni napravi. Poraba kisika, izmerjena med RVE z umetno težnostjo in brez nje (na napravi za vodoravno vadbo), bo uporabljena pri načrtovanju obrokov za preiskovance, kar bo zagotovilo ustrezen dnevni vnos energije. Ta študija je del večjega projekta, ki ga izvajamo v sodelovanju s partnersko Univerzo v Nottinghamu.

viii. *Vpliv centrifugiranja (umetne gravitacije) na uravnavanje vazomotorične aktivnosti.* Regulacijo vazomotorične aktivnosti v perifernih žilah uravnava fiziološka sistema, pristojna za uravnavanje telesne temperature in arterijskega tlaka. Način medsebojnega delovanja teh dveh fizioloških sistemov pri uravnavanju perifernega vazomotornega tonusa ob povečani gravitacijski obremenitvi glave in nog pri različnih temperaturah okolja v hipoksičnih in normoksičnih pogojih je bil cilj projekta ESA-INTREPID. Ta projekt je potekal v sodelovanju z Univerzo v Caenu (Francija).

ix. *Morska bolezen ali gibalna bolezen (angleško: motion sickness) med vadbo na človeški centrifugi (SAHC).* Vadba na človeški centrifugi povzroča slabost zaradi premikanja. Podatkov o vplivu ponavljajoče se izpostavljenosti dražljaju, ki povzroča gibalno slabost, je malo. Namen te študije je bil ugotoviti, ali bi vsakodnevna vadba, ki se izvaja v obdobju dveh tednov (v), izboljšala etiologijo gibalne slabosti ali jo poslabšala.

Neurookularni sindrom, povezan z vesoljskimi poletji (SANS). Naše predhodne raziskave so bile osredotočene na ocenjevanje vpliva dejavnikov, povezanih z vesoljskim poletom (tj. neaktivnost/razbremenitev, hipoksija, hiperkapnija, vadba, starost, spol itd.), na mrežnico in znotraj očesni tlak. Namen teh raziskav je bil ugotoviti, ali in koliko ti dejavniki prispevajo k etiologiji SANS. Te študije so bile kratkotrajne, zato jih ni bilo mogoče uporabiti za ustrezno napoved, kakšen učinek bi imeli dolgoročno, oziroma kako bi lahko prispevali k SANS. S partnerjem C3M, d. o. o., in ob podpori ESA smo razvili biomehanski model očesa, ki vključuje vse naše dosedanje ugotovitve in omogoča simulacijo dolgoročnega vpliva preiskovanih dejavnikov na oko.

Zaščitna oblačila. S partnerjem Prevent Deloza, d. o. o., smo nadaljevali razvoj ventilacijskega jopiča, ki bi zagotavljal učinkovito hlajenje trupa, zlasti če bi ga nosili pod balističnim jopičem. Ocena jopiča v simuliranih vročih okoljskih pogojih v naši klimatski komori je potrdila, da je prototip jopiča zagotavljal zadostno prezračevanje za znatno zmanjšanje vpivanja znoja oblačil, kar je izboljšalo udobje uporabnika.

Napovedovanje delovanja srca in ožilja med izpostavljenostjo vročemu okolju. Podnebne spremembe so povečale pogostost, intenzivnost in trajanje poletnih vročinskih valov, kar pomeni dodatno obremenitev za delavce z boleznijo srca in ožilja. Potrdili smo enačbe za napovedovanje utripnega volumna (SV) na podlagi meritev krvnega tlaka in te enačbe uporabili za spremljanje srčnega indeksa oseb, ki so med simuliranim tridnevним vročinskim valom (HW) opravljale simulacije industrijskega dela. Na podlagi teh rezultatov smo lahko enačbe razvrstili glede na njihovo napovedno moč. Prihodnje delo bo osredotočeno na vzpostavitev novega modela za napovedovanje utripnega volumna in posledično srčnega indeksa, ki bi ga lahko uporabljali delavci, izpostavljeni vročim okoljskim razmeram. Ta študija je bila izvedena v sodelovanju s kolegi z Univerze v Innsbrucku.



Slika 7: Razsikovalec z IJS v napravi za horizontalno vibracijsko vadbo

Cilj študij, izvedenih v letu 2023, je bil obravnavati različna nerešena vprašanja v zvezi z vibracijsko vadbo, ki se izvaja brez umetne gravitacije ali z njo. Te študije smo uporabili pri pripravi projekta ESA-BRAVE (Bed Rest Artificial gravity and Vibration Exercise).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. T. Petrič and L. Žlajpah, Kinematic model calibration of a collaborative redundant robot using a closed kinematic chain, *Scientific reports*, 2023, **13**, 17804-1-17804-12
2. T. Kunavar, X. Cheng, D. W. Franklin, E. Burdet, and J. Babič, Explicit learning based on reward prediction error facilitates agile motor adaptations, *PloS one*, 2023, **18**, 12, e0295274-1-e0295274-23
3. M. Deniša, A. Ude, M. Simonič *et al.*, Technology modules providing solutions for agile manufacturing, *Machines*, 2023, **11**, 9, 877-1-877-28
4. J. Čamernik, R. Kropivšek Leskovar and T. Petrič, Leader-follower dynamics in complex obstacle avoidance task, *International Journal of Social Robotics*, 2023, **15**, 1, 59-70
5. U. Ciuha, T. Valenčič, L. G. Ioannou, and I. B. Mekjavič, Efficacy of cooling vests based on different heat-extraction concepts: The HEAT-SHIELD project, *Journal of Thermal Biology*, 2023, **112**, 103442-1-103442-10
6. T. Mlinar, T. Debevec, J. Kapus, P. Najdenov, A. McDonnell, A. Ušaj, I. B. Mekjavič, Igor B., and P. Jaki Mekjavič, Retinal blood vessel diameters in children and adults exposed to a simulated altitude of 3,000m, *Frontiers in Physiology*, 2023, **14**, 1026987

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. 32. Mednarodna konferenca o robotiki, RAAD 2023, Bled, 14.–16. 6. 2023
2. Sestanek projekta H2020 ReconCycle, Ljubljana, 5.–6. 7. 2023
3. ReconCycle poletna šola, Cala Ratjada, Španija, 23.–26. 10. 2023

Nagrade in priznanja

1. Gal Sajko: Prešernova nagrada študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, Plezajoči robotski pajek.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. PERI SiteStruct
PERI SE
prof. dr. Aleš Ude
2. FlexHex patent „Cardon Joint“
Flex Hex ApS
doc. dr. Igor Kovač
3. H2020 - TRINITY; Digitalne tehnologije, adaptivna robotika in intuitivni vmesniki za napredne proizvodne procese
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
4. H2020 - ReconCycle; Samodejna rekonfiguracija robotske celice za predelavo elektronskih odpadkov
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
5. Učinki robotsko inducirane lokalne gravitacijske upodabljanja na človeško motorično kontrolo v različnih gravitacijskih okoljih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jan Babič
6. Razširitev prediktivnega vodenja humanoidnih robotov na osnovi modela s prednaučeno dinamiko
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Gams
7. Ergonomska interakcija med človekom in robotom preko optimizacije s strojnim učenjem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jan Babič
8. Človekovo motorično učenje in modulacija povratne zanke pri gibanju celega telesa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jan Babič
9. OE - EUROfusion; WP17: RM_OE-FU
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
10. OE - euROBIN; Evropska mreža za robotiko in umetno inteligenco
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
11. OE - SWAG; Mehka nosljiva podpora oblačila za človeško okrepitev
European Commission
prof. dr. Jan Babič
12. Optimizacija zmogljivosti atletov na Olimpijskih igrah v Parizu 2024 izpostavljenih vročinskemu stresu iz okolja
Sveriges Olympiska Kommitté
dr. Urša Ciuha
13. DIGITAL EU; DS4Health - Digitalne veščine za preobrazbo v zdravstvu
European Commission
prof. dr. Jan Babič
14. ERASMUS+; AgeWell - Multimodalna telesna dejavnost in zdravstvena vzgoja za zdravo staranje
Léargas, the Exchange Bureau
dr. Adam McDonnell

15. ESA - INTREPID
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavič
16. ESA - BRAVE
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavič
17. ESA - CORA
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavič

PROGRAM

1. Avtomatika, robotika in biokibernetika
prof. dr. Igor Mekjavič

PROJEKTI

1. Mehanizmi hipoksične (in)tolerance pri predčasno rojenih posameznikih
prof. dr. Tadej Debevec
2. Intermitentna eksogena ketoza: Nova strategija izboljšanja hipoksične tolerance in adaptacije
prof. dr. Tadej Debevec
3. Prilagoditev in senzomotorično procesiranje med povečanimi gravitacijskimi gradienti
dr. Adam McDonnell
4. Učenje z menjavo vlog pri fizičnem sodelovanju med človekom in robotom (SWITCH)
prof. dr. Tadej Petrič
5. Uporaba vadbe z uporovnimi vibracijami (RVE) za ublažitev degeneracije hrustanca, povzročene s hipoksično neaktivnostjo: posledice za bolnike s Covid-19
dr. Adam McDonnell
6. Dinamična več kontaktna interakcija celega telesa za izboljšanje natančnosti manipulacije
prof. dr. Tadej Petrič
7. Robotsko pregledovanje in manipulacija tekstila in tkanin (RTFM)
prof. dr. Andrej Gams
8. NOO-DIGITOP; Digitalna transformacija robotiziranih tovarn prihodnosti
prof. dr. Aleš Ude
9. Naprej
Univerza na Primorskem
prof. dr. Jan Babič
10. Robotski vrt - tehnična in strokovna podpora pri razvoju in postavitvi produkcije, izdelava robotskega pajka in namembne vertikalne stene
Mladinski center Velenje
prof. dr. Jan Babič
11. Razvoj multispektralne kamuflaže za vozila, opremo in vojaka
Ministrstvo za obrambo
dr. Urša Ciuha
12. Stimulatorji tuji trg
prof. dr. Aleš Ude
13. Servisne usluge – tujina
prof. dr. Aleš Ude

OBISKI

1. Elena Paris Quijada, Univerza Twente, Nizozemska, 13. 1.–3. 2. 2023
2. Pasquale Mottola, Univerza v Neaplju Federico II, Neapelj, Italija, 3. 5.–10. 11. 2023
3. Raffaella Mancino, Univerza v Neaplju Federico II, Neapelj, Italija, 3. 5.–10. 11. 2023
4. Antonio Bicchi, Univerza v Pisi, Pisa, Italija, 17.–19. 4. 2023
5. Andrej Čilag, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 16. 6.–17. 9. 2023
6. Florentin Wörgötter, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 5.–6. 7. 2023
7. Sebastian Ruiz, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 5.–6. 7. 2023
8. Jurgen Schulz, ElectroCycling GmbH, Nemčija, 5.–6. 7. 2023
9. Riccardo Persichini, qrobotics srl, Pisa, Italija, 5.–6. 7. 2023
10. Hamid Sadehian, Tehniška univerza v Münchnu, Nemčija, 5.–6. 7. 2023
11. Manuel Catalano, Istituto Italiano di Tecnologia, Genova, Italija, 5.–6. 7. 2023
12. Vinicio Tincani, Istituto Italiano di Tecnologia, Genova, Italija, 5.–6. 7. 2023
13. Myrthe Stalman, Univerza Leuven, Leuven, Belgija, 8.–16. 9. 2023
14. Sebastian Ruiz, Univerza v Göttingenu, Göttingen, Nemčija, 11.–15. 9. 2023
15. Ana Salve Machuca, Univerza Twente, Nizozemska, 16. 9.–16. 12. 2023
16. Ron Goerz, Univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija, 27.–29. 9. 2023
17. Mirko Raković, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 22.–24. 11. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Matevž Majcen Hrovat: Študija izvedljivosti za robotskega prodajalca nakita, 13. 1. 2023
2. prof. dr. Andrej Gams: Robotsko podprta adaptivna vizualna kontrola kvalitete – doprinos IJS h Kolektor Pilotu v okviru projekta QU4LITY, 20. 1. 2023
3. dr. Mihael Simonič: Postopno učenje robotskih nalog sestavljanja s sodelovanjem človeka z robotom, 27. 1. 2023
4. prof. dr. Tadej Debevec: Uporabnost modeliranja eksperta in videoanalize za razvoj tehnike pri športnih plezalcih začetnikih, 3. 2. 2023
5. Jack Patrick Fortune: Učinki šprinterskega treninga z uporabo in šprinterskega treninga z največjo hitrostjo na pospeševalno zmogljivost športnikov v ekipnih športih na terenu, 17. 2. 2023
6. prof. dr. Igor Mekjavič: Nerešena vprašanja z našo človeško centrifugo: da se ti v glavi zavrti, 24. 2. 2023
7. dr. Zvezdan Lončarevič: Pridobivanje novitih strategij s pomočjo učenja s prenosom znanja, 10. 3. 2023
8. Matija Mavsar: Napoved gibanja pri sodelovanju robota in človeka z uporabo generativnih nasprotniških mrež, 10. 3. 2023
9. prof. dr. Aleš Ude: Na poti do transferabilne utelešene umetne inteligence, 24. 3. 2023
10. Jason Thomas Fisher: Interakcija mehanizmov za nadzor pretoka krvi v perifernih regijah, 31. 3. 2023
11. Benjamin Jonathan Narang: Učinki hipoksije, hiperkapnije in hipobarije na pljučno ventilacijo pri zdravih odraslih, rojenih prezgodaj, 31. 3. 2023
12. Victorien Olivier Faivre-Rampant: Razlike med spoloma v akutnih srčno-žilnih odzivih pri ekscentričnem kolesarjenju na podlagi zaznanega napora, 7. 4. 2023
13. Luka Mišković: JSI eksoskelet: aktivni, pasivni, pnevmatski in prenosni kolenski eksoskelet, 7. 4. 2023
14. prof. dr. Bojan Nemec: Izkoriščanje podajnosti in inkrementalne formulacije naloge pri robotskem sestavljanju, 14. 4. 2023
15. prof. dr. Jan Babič: Optimizacija nosljivih robotskih naprav s človekom v zanki za izboljšanje interakcije med človekom in robotom, 21. 4. 2023
16. dr. Adam McDonnell: Malo mene, malo tebe, 5. 5. 2023
17. dr. Leon Žlajpah: Izboljšanje natančnosti pozicioniranja robota s kalibracijo, 12. 5. 2023
18. Martin Bem: Inverzna in direktna kinematika modificirane platforme Stewart-Gough, 19. 5. 2023
19. Kristina Savevska: Učenje humanoidnega robota s pomočjo učenja s posnemanjem in spodbujevalnim učenjem, 19. 5. 2023
20. dr. Tilen Breclj: Projekt Switch, 9. 6. 2023
21. dr. Anton Ružič: Konzorcij EUROfusion – prizadevanja za razvoj trajnostne proizvodnje električne energije z jedrsko fuzijo, 7. 7. 2023
22. prof. dr. Tadej Petrič: Sodelovanje med človekom in robotom v skupnih delovnih prostorih, 13. 10. 2023
23. Tjaša Kunavar: Razlike v motoričnih sposobnostih med profesionalnimi igralci e-športov, priložnostnimi igralci in neigralci, 10. 11. 2023
24. dr. Zvezdan Lončarevič: Klasični pristopi in pristopi globokega učenja za prepoznavanje človeških dejanj, 10. 11. 2023
25. dr. Igor Kovač: Nov center RIP *Razvojno inovacijsko partnerstvo in instrument NDC Nacionalni demo center Pametne tovarne*, 17. 11. 2023
26. Sara Podgornik, Vpliv vročinske obremenitve na kognitivno zmogljivost, 1. 12. 2023
27. dr. Urša Ciuha, Fiziološki in subjektivni odzivi na spreminjajočo se relativno vlažnost v prostoru, 1. 12. 2023
28. Jason Thomas Fisher: Hemodinamični in mikrovaskularni odzivi na umetno gravitacijo: Razlike med spoloma, 15. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Jan Babič, Mechanism of Brain and Mind Conference, Rusutsu, Japonska, 5. 1.–7. 1. 2023 (1)
2. Benjamin Jonathan Narang, International Hypoxia Symposium, Alberta, Kanada, 7.–12. 2. 2023 (2)
3. Miha Deniša, Bojan Nemec, Aleš Ude, European Robotics Forum ERF 2023, Odense, Danska, 14.–16. 3. 2023
4. Benjamin Fele, Interdisciplinary College 2023, 11.–18. 3. 2023
5. Adam McDonnell, Variability, Physiological Variability and Individual Responses: A Practical Research Workshop, London, Združeno kraljestvo, 4. 4. 2023
6. Andrej Gams, Aleš Ude, International Conference on Robotics and Automation ICRA 2023, London, Združeno kraljestvo, 28. 5.–3. 6. 2023 (1)
7. Victorien Olivier Faivre-Rampant, Jason Thomas Fisher, Adam McDonnell, International conference of gravitational fiziology ISGP 2023, Antwerp, Belgija, 2.–7. 7. 2023 (1)
8. Tadej Debevec, Leonidas Ioannou, Benjamin Jonathan Narang, Lydia Tsoutsoumpi, 28th Annual Congress of the European College of Sport Science, Pariz, Francija, 4.–7. 7. 2023 (4)
9. Leonidas Ioannou, Lydia Tsoutsoumpi, Science Summit and the International Science Symposium, Pariz, Francija, 27.–29. 6. 2023
10. Bojan Nemec, 20th International Conference on Ubiquitous Robots UR 2023, Honolulu, Havaji, Združene države Amerike, 25.–28. 6. 2023 (1)
11. Tadej Petrič, International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS 2023, Detroit, ZDA, 1.–5. 10. 2023 (3)
12. Niko Kroflič, Proceedings of the MEI:CogSci Conference, Budimpešta, Madžarska, 15.–17. 6. 2023 (1)
13. Peter Nimac, Riccardo Sorrentino, IPSSC in KMBO študentska konferenca, Kamnik, 31. 5.–2. 6. 2023 (3)
14. Andrej Gams, Tadej Petrič, BioRob workshop, Lozana, Švica, 18.–21. 6. 2023 (2)
15. Martin Bem, Tilen Breclj, Miha Deniša, Andrej Gams, Boris Kuster, Zvezdan Lončarevič, Luka Mišković, Bojan Nemec, Peter Nimac, Tadej Petrič, Kristina Savevska, Mihael Simonič, Aleš Ude, Leon Žlajpah, International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD 2023, Bled, Slovenija, 14.–16. 6. 2023 (15)
16. Martin Bem, Miha Deniša, Andrej Gams, Matevž Majcen Hrovat, Boris Kuster, Matija Mavsar, Bojan Nemec, Peter Nimac, Rok Pahič, Kristina Savevska, Mihael Simonič, Aleš Ude, ReconCycle Summer School, Cala Ratjada, Španija, 23.–26. 10. 2023 (3)
17. Marko Jamšek, Niko Kroflič, Tjaša Kunavar, Gal Sajko, Progress in Motor Control XIV meeting, Rim, Italija, 28.–30. 9. 2023 (1)
18. Jan Babič, Benjamin Fele, Marko Jamšek, Tjaša Kunavar, Gal Sajko, ARS Electronica, Linz, Avstrija, 6.–10. 9. 2023 (1)
19. Tadej Petrič, International Conference on Advanced Robotics ICAR 2023, Abu Dhabi, Združeni arabski emirati, 5.–8. 12. 2023 (1)
20. Jan Babič, International Conference on Robotics and Biomimetics ROBIO 2023, Koh Samui, Tajska, 4.–8. 12. 2023 (1)
21. Jason Thomas Fisher, Kongres 8th Human Physiology Workshop, Koln, Nemčija, 8. 12. 2023 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Victorien Olivier Faivre-Rampant: Univerza Caen, Francija, 18. 4.–1. 7. 2023 (strokovno izpopolnjevanje)
2. Victorien Olivier Faivre-Rampant: Univerza Caen, Francija, 2. 10.–31. 12. 2023 (strokovno izpopolnjevanje)
3. Zvezdan Lončarevič: Tehnološki inštitut Karlsruhe, Nemčija, 1. 1.–31. 1. 2023 (strokovno izpopolnjevanje)
4. Aleš Ude: Raziskovalni inštitut ATR, Kyoto, Japonska, 9. 7.–31. 8. 2023 (znanstveno sodelovanje)
5. Matija Mavsar: Raziskovalni inštitut ATR, Kyoto, Japonska, 25. 7.–12. 10. 2023 (strokovno izpopolnjevanje)
6. Luka Mišković: Univerza v Heildebergu, Nemčija, 29. 4.–2. 11. 2023 (strokovno izpopolnjevanje)
7. Benjamin Jonathan Narang: Raziskovalni inštitut Courmayeur, Italija, 16. 9.–1. 11. 2023 (sodelovanje)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Jan Babič
2. dr. Urša Ciuha
3. prof. dr. Tadej Debevec*
4. prof. dr. Andrej Gams
5. prof. dr. Polonca Jaki Mekjavič*, znanstveni svetnik
6. doc. dr. Igor Kovač
7. dr. Adam McDonnell
8. prof. dr. Igor Mekjavič, znanstveni svetnik
9. prof. dr. Bojan Nemec, znanstveni svetnik - vodja laboratorija
10. prof. dr. Tadej Petrič
11. dr. Anton Ružič
12. *prof. dr. Blaž Stres*, znanstveni svetnik, odšel 1. 10. 2023*
13. **prof. dr. Aleš Ude, znanstveni svetnik - vodja odseka**
14. doc. dr. Leon Žlajpah, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

15. dr. Tilen Breclj
16. *dr. Jernej Čamernik, odšel 6. 2. 2023*
17. dr. Miha Deniša
18. *dr. Miha Dežman, začasna prekinitev 1. 5. 2021*
19. Leonidas Ioannou, PhD., Grčija
20. dr. Marko Jamšek
21. dr. Rok Pahič*
22. dr. Mihael Simonič
23. Lydia Tsoutsoumpi, PhD., Grčija
24. dr. Nina Verdel

Mlajši raziskovalci

25. Martin Bem, mag. inž. str.
26. Victorien Olivier Faivre-Rampant, MSC., Francija
27. Benjamin Fele, mag. kog. zn.
28. Jason Thomas Fisher, MSc., Anglija
29. Jack Patrick Fortune, mag. ekotehnol.
30. Tjaša Kunavar, M. Sc.
31. Boris Kuster, mag. inž. str.
32. dr. Zvezdan Lončarevič
33. Matija Mavsar, mag. inž. el.
34. Luka Mišković, MSc
35. Benjamin Jonathan Narang, MSc., Anglija
36. Peter Nimac, mag. inž. el.
37. Sara Podgornik, mag. kog. zn.
38. Gal Sajko, mag. inž. el.
39. Kristina Savevska, mag. inf. in kom. tehnologiji
40. Riccardo Sorrentino, MSc., Italija
41. Jan Šifrer, mag. fin. mat.

Strokovni sodelavci

42. Niko Kroflič, mag. kog. zn.
43. Matevž Majcen Hrovat, mag. fiz.
44. Simon Rebersšek, univ. dipl. inž. el.
45. Saša Repanšek, prof. šp. vzg.
46. Bogomir Vrhovec, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Tehniški in administrativni sodelavci

47. Tanja Ivančič, dipl. soc. del.
48. Petra Movh, univ. dipl. org.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. AnyBody Technology A/S (SME), Danska
2. ATR Computational Neuroscience Laboratories, Kyoto, Japonska
3. Georg-August-Universität Göttingen, Nemčija
4. Centria University of Applied Sciences, Kokkola, Finska
5. Charité-Universitätsmedizin Berlin, Nemčija
6. CSIC, Institut de Robòtica i Informàtica Industrial, Barcelona, Španija
7. Deutsches Zentrum Für Luft- und Raumfahrt, Köln, Nemčija
8. ElectroCycling GmbH, Goslar, Nemčija
9. ELVEZ, Višnja Gora
10. EPFL, Biorobotics Laboratory, Lausanne, Švica
11. European Space Agency (ESA), Noordwijk, Nizozemska
12. Heidelberg University, Nemčija
13. Idiap Research Institute, Martigny, Švica
14. Institut National de Recherche en informatique et en automatique, Francija
15. Institute of Robotics and Mechatronics, DLR, Oberpfaffenhofen, Nemčija
16. Inštitut za rehabilitacijo RS, Ljubljana
17. Italian Institute of Technology, Genova, Italija
18. Johannes Kepler University Linz, Avstrija
19. Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Anthropomatics, Nemčija
20. Kolektor Group, d. o. o., Idrija
21. Marovt, d. o. o., Stranice
22. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana
23. National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of physical education and sport science, Department of sport medicine and biology of exercise, Atene, Grčija
24. Nordijski center Planica, Planica
25. OttoBock Healthcare GmbH, Nemčija
26. PERI Group, Nemčija
27. Predilnica Litija, d. o. o., Litija
28. Prevent-DeLoza, d. o. o., Celje
29. qrobotics, Pisa, Italija
30. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska
31. Rudolfovo - znanstveno in tehnološko središče, Novo mesto
32. RWTH Aachen, Institute of Man-Machine Interaction, Nemčija
33. S2P, znanost v prakso, Ljubljana
34. Slovenski etnografski muzej, Ljubljana
35. Steklarna Hrastnik, d. d., Hrastnik
36. Tampere University of Technology, Institute of Production Engineering, Finska
37. Technische Universität München, Nemčija
38. Università degli studi di Trieste, Italija
39. Università degli studi di Udine, Italija
40. University of Bremen, Institute of Artificial Intelligence, Nemčija
41. University of Innsbruck, Avstrija
42. University of Nottingham, Velika Britanija
43. University of Portsmouth, The Human and Applied Physiology Laboratory, Anglija
44. University of Southern Denmark, Maersk McKinney Moller Institute, Odense, Danska
45. University of Texas at Austin, ZDA
46. Univerza v Beogradu, Elektrotehniška fakulteta, Beograd, Srbija
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana
49. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
50. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana
51. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana
52. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Odsek za fizioterapijo
53. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
54. Univerza v Zagrebu, Hrvaška
55. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični inštitut za klinično nevrofiziologijo
56. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Očesna klinika
57. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ortopedska klinika
58. Vrije Universiteit Brussel, Belgija
59. Xsens Technologies, Nizozemska
60. Yaskawa Europe, Kočevje
61. Zavod Kersnikova, Galerija Kapelica, Ljubljana
62. University Savoie Mont Blanc, Chambéry, France
63. Domel, d. o. o., Železniki, Slovenija

Dejavnost Odseka za sisteme in vodenje obsega analizo, vodenje ter optimizacijo različnih sistemov in procesov. V tem okviru raziskujemo in preizkušamo nove metode za avtomatsko vodenje, razvijamo postopke in programska orodja za podporo načrtovanju in gradnji sistemov za vodenje, načrtujemo in izdelujemo namenske elektronske sklope ter gradimo zahtevne sisteme za vodenje in nadzor strojev, naprav oziroma industrijskih in drugih procesov.

Raziskave in projekti so v letu 2023 potekali na naslednjih področjih: modeliranje kompleksnih dinamičnih sistemov, napredno vodenje, prognostika in diagnostika ter namenski moduli za implementacijo sistemov vodenja. S temi metodologijami smo reševali odprte probleme s področja industrijske proizvodnje, energetike, ekologije, medicine ter družboslovnih in ekonomskih znanosti.

Na področju **modeliranja kompleksnih dinamičnih sistemov** smo v preteklem obdobju raziskovali metode simulacije aproksimiranih avtoregresijskih modelov z metodami odločitvenih dreves in modeli na podlagi Gaussovih procesov.

Za projekt *Izvor, transport in ponor obstojnih zračnih onesnaževal v okolju Slovenije* smo razvili nadomestni model na podlagi Gaussovih procesov, ki prikazuje razširjanje žveplovega dioksida v zraku nad termoelektrarno Šoštanj.

Za projekt *Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju* pa smo izboljšali, analizirali in objavili nadomestni model za napovedovanje kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju. Analizirali smo predvsem natančnost in računsko zahtevnost metode modeliranja in napovedovanja radiološkega sevanja na področju okoli NEK Krško.

Z naslova prijave ERC projekta smo pridobili domači raziskovalni projekt z naslovom *Zrak v kraškem podzemlju kot ponor toplogrednih plinov*. Metan je pomemben toplogredni plin, opazovanja pa kažejo, da se v zraku v podzemlju hitro razgradi. Z meritvami, modeliranjem in razvojem teorije bomo določili pretok zraka skozi kraško podzemlje, saj je to glavni vir negotovosti pri ocenjevanju vloge podzemlja kot ponora metana.

Na področju **napredno vodenje** smo skupaj s partnerji nadaljevali projekt *Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu* ter raziskovali možnosti in omejitve uporabe jedrske energije kot prilagodljivega vira električne energije za pokrivanje dnevnih nihanj proizvodnje energije iz fotovoltaičnih (FV) elektrarn. Raziskava je potekala v obliki simulacijske študije na digitalnem dvojčku tlačnovodnega jedrskega reaktorja (PWR), ki temelji na nelinearnem modelu z 2-točkovno nevtronsko kinetiko. Prispevek naše skupine je nova metoda vodenja in regulacije reaktorja z upoštevanjem nelinearnosti aktuatorja, kar smo izvedli tako za konfiguracijo z dvema skupinama krmilnih palic kot za konfiguracijo z eno skupino krmilnih palic in spreminjanjem koncentracije borove kisline.

Na področju **čisto okolje** smo z regresijskimi modeli na osnovi naključnih gozdov modelirali kazalnike obratovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih vod. Raziskave na področju čiščenja odpadnih voda so usmerjene tudi v razvoj poenostavljenih modelov in uporabo optimizacijskih metod s ciljem izboljšanja obratovalnih kazalnikov, kot sta kakovost iztoka in poraba energije.

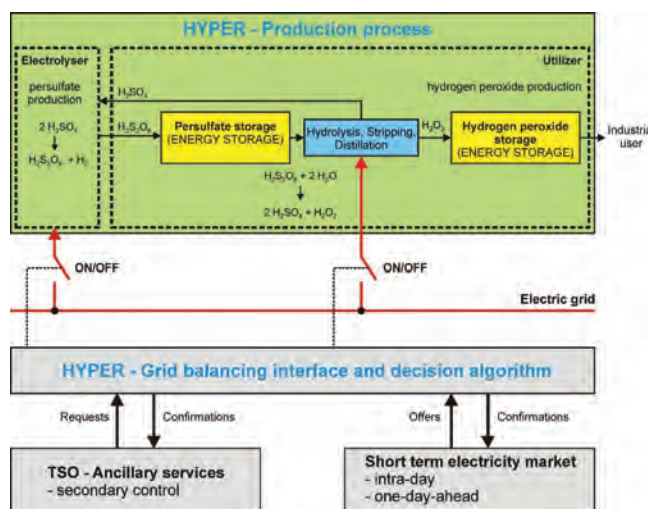
V sklopu projekta *Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda* smo raziskovali najpomembnejše vplivne spremenljivke študijskega modela čistilne naprave glede na kazalnika kakovosti obratovanja in obratovalnih stroškov z uporabo metode naključnih gozdov. Razvit in simulacijsko preizkušen je bil algoritem za optimizacijo izbranih kriterijev z uporabo mehkega modela in enostavnega prediktivnega vodenja. Spremljali in analizirali smo delovanje regulacij na treh realnih čistilnih napravah, predlagali smo popravke regulacijskih parametrov ter pripravili specifikacije za izboljšanje regulacij s ciljem izboljšanja kazalnikov obratovanja.

Pri projektu *UPTAKE - Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioriteten onesnažil*

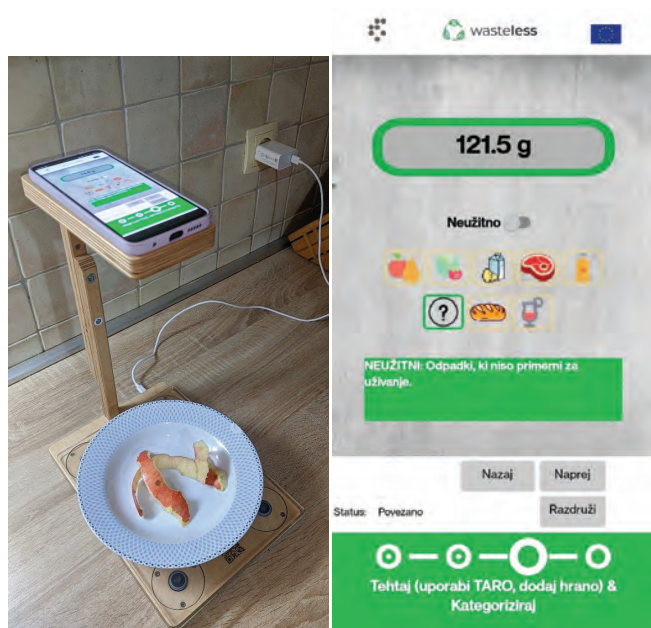


Vodja:

doc. dr. Gregor Dolanc



Slika 1: Mednarodni projekt HYPER, elektrificirana proizvodnja vodikovega peroksida in balansiranje elektroomrežja



Slika 2: Projekt WASTELESS: Sistem za tehtanje in kategorizacijo odpadne hrane (pametna tehnica in aplikacija)

v modelni rastlini paradižnika smo skupaj s partnerji modelirali privzem novodobnih onesnažil v paradižnik. Z metodo klasifikacije smo potrdili vpliv fizikalno-kemijske lastnosti onesnažil na njihov privzem v plod paradižnika in določili lastnosti, ki imajo največji vpliv na privzem.

Na področju pametnih tovarn smo raziskovali in razvijali samo učljive sisteme za spremljanje in nadzor nad delovanjem proizvodne opreme na podlagi analize signalov, ki jih proizvodni sistemi generirajo.

V okviru projekta *Minimalno-invazivni samorazvijajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti* smo razvijali posamezne gradnike sistema, ki izvajajo segmentacijo in zaznavo ponovljivih vzorcev v časovnih vrstah signalov. Razvijali smo tudi metode za identifikacijo diskretno-dogodkovnih sistemov (DES) delovanja proizvodne opreme. Cilj projekta je razviti metode in algoritme za zaznavanje napak v industrijskih proizvodnih procesih na osnovi signalov, pridobljenih s splošno-prisotnimi oziroma preprosto vgrajenimi senzorji.

V sodelovanju s podjetjem Polycom smo začeli razvijati algoritme za prediktivno vzdrževanje opreme za brizganje plastičnih izdelkov. Razviti algoritmi se osredotočajo na detekcijo odstopanj trenutnih delovnih točk in zaznavanje srednjeročnih leženj procesnih spremenljivk.

V okviru pobude Republike Slovenije za vzpostavitev in delovanje strateško inovativnih partnerstev v okviru Slovenske strategije pametne specializacije S4 deluje tudi Strateško inovativno partnerstvo Tovarne

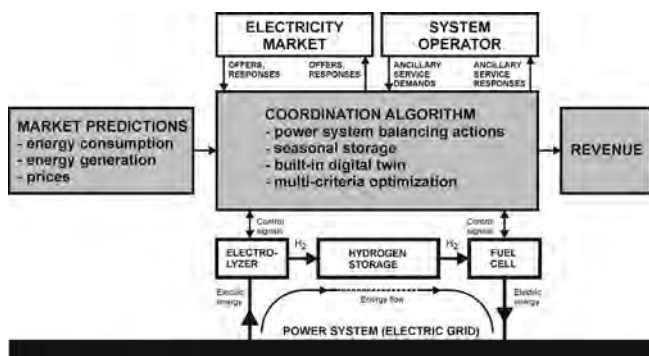
prihodnosti – SRIP ToP. Naš odsek ima v SRIP ToP aktivno vlogo na področju Tehnologije vodenja in pri izvajanju večletnega akcijskega načrta tega področja. Sodelavca odseka sta predstavnik mreže SRIP ToP v evropskih združenjih Processes4Planet in Made in Europe.

V sklopu energetike in vodikovih tehnologij smo v okviru projekta *Optimizacijsko vodenje pretvornika energije v vodik* v povezavi s hidroelektrarno zasnovali in razvili orodje za podporo odločanju za prihodnje načrtovanje in naložbe v vodikove tehnologije v hidroelektrarni z upoštevanjem tehničnih in ekonomskih vidikov njihove implementacije. Takšno orodje omogoča učinkovitejšo izbiro velikosti komponent vodikovega sistema in daje oceno ekonomskih koristi proizvodnje vodika.

Hkrati na tem področju nadaljujemo s koordinacijo in izvajanjem sorodnega raziskovalnega projekta *Večfunkcionalne vodikove tehnologije* v podporo balansiranju elektroenergetskega sistema, shranjevanju energije in trgu s področja uporabe vodikovih tehnologij v energetiki. S pomočjo modelov in simulacij raziskujemo možnosti in ekonomsko upravičenost uporabe hibridnega sistema, sestavljenega elektrolizerja, hranilnika vodika, gorivne celice ter baterije za balansiranje omrežja prek sekundarne regulacije in tržnih mehanizmov. Z uporabo digitalnega dvojčka si bomo pomagali pri dimenzioniranju sistema in ugaševanju koordinacijskega algoritma za vodenje sistema. Sodelujoča partnerja pri projektu sta Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru ter podjetje Dravske elektrarne, ki projekt tudi sofinancira.

Začeli smo izvajati nov projekt *Modeliranje trdooksidnih gorivnih celic z uporabo stohastičnih in razločljivih modelov strojnega učenja*. Tehnologija visokotemperaturnih celic s trdnim oksidom (SOFC) ponuja učinkovito in čisto pridobivanje energije iz različnih goriv, vendar ob neustreznih pogojih delovanja lahko pride do degradacije in skrajšanja življenjske dobe. Želimo razviti nove metode za napovedovanje preostale uporabne življenjske dobe sistemov SOFC z modeli, ki upoštevajo negotovosti in omejene nize podatkov. Modeliranje temelji na uporabi strokovnega znanja iz tehnologije sistemov SOFC in na eksperimentalnih podatkih. Rezultat raziskave bodo novi verjetnostni pristopi modeliranja, ki temeljijo na podatkih in presegajo tradicionalne metode.

Na področju baterijskih sistemov nadaljujemo s projektom *Natančna fizikalno osnovana ocena stanja ohranjenosti zdravja litij-ionskih baterij na osnovi meritev nizkofrekvenčne impedance s stohastičnim vzbujevanjem*. Razvijamo nove fizikalne modele impedance grafitnih anod in celotnih litij-ionskih baterij. Raziskujemo korelacijo med elektrokemijsko impedančno spektroskopijo (EIS) in stanjem zdravja (SOH) za posamezne komercialne baterije. Razvijamo elektronski merilni modul (DRBS-EIS) na osnovi kontinuirane wavelet transformacije (CWT). Končni cilj projekta je izboljšati natančnost korelacije med EIS in SOH ter vzpostaviti zanesljivo, neinvazivno metodo za diagnosticiranje in prognozo stanja baterij.



Slika 3: Koncept povezave vodikovih tehnologij z elektroenergetskim sistemom in trgom

Nadaljujemo tudi z raziskavami na področju **medicine**. Izvajamo raziskovalni projekt z naslovom *Sinhronizirana kardio-respiratorna koronarna rehabilitacija*. Omenjena metoda je namenjena rehabilitaciji srčnih bolnikov in temelji na počasnem gibanju, usklajenem z dihanjem. Študija, ki jo v zvezi s tem izvajamo, bo primerjala učinkovitost te metode s standardno metodo kontinuirane aerobne/intervalne vadbe (CAIE) in hibridnim pristopom, ki združuje oboje. Skupaj s partnerskimi raziskovalnimi organizacijami bomo ocenili fiziološke procese bolnikov in kardiovaskularno-respiratorno interakcijo, da bi ugotovili, ali lahko SCR izboljša stopnjo preživetja in kakovost življenja srčnih bolnikov.

Na področju **družboslovnih in ekonomskih znanosti** nadaljujemo s sodelovanjem z Ekonomsko fakulteto Ljubljana v okviru novega projekta *Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multi-metodološka empirična analiza*, namenjenega izgradnji teoretičnega okvira za trajnostno naravnana podjetja, določitvi vrst potrebnih investicij ter ovrednotenju obstoječih in potrebnih investicij v slovenskih podjetjih za dosego trajnosti.

Začeli smo tudi sodelovati pri projektu *Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite*. Projekt se osredotoča na umetno inteligenco (AI) na trgu dela, njegov cilj pa je ozaveščanje o uporabi rešitev AI ter prepoznavanje in obvladovanje tveganj v zaposlovalnih procesih.

Izvajamo in koordiniramo številne mednarodne raziskovalne projekte.

Uspešno smo zaključili koordinacijo projekta *H2020 Inevitable*, ki se ukvarja z optimizacijo v procesni industriji s pomočjo tehnologij s področja digitalizacije. Projekt je usmerjen v železarsko industrijo, v slovenskem delu projekta gre za večstransko optimizacijo procesa v elektro-obločni peči in procesa hladnega valjanja. Razvili smo programska orodja za podporo odločanju in spremljanje stanja pri procesu hladnega valjanja.

V letu 2023 smo skupaj s še nekaterimi drugimi odseki na IJS začeli projekt *WASTELESS*, katerega cilj je razviti in preizkusiti različna inovativna orodja in metodologije za merjenje in spremljanje odpadne hrane. Razvijamo metodologijo in podporno orodje za samodejno ocenjevanje zavržene hrane v gospodinjstvih.

Začel se je izvajati mednarodni projekt AI Redgio5.0, ki je namenjen demonstraciji in testiranju rešitvam umetne inteligence v industrijski proizvodnji. Ukvarjamo se s tehnologijo neinvazivnega sprotnega nadzora diskretnih proizvodnih procesov, kar vključuje razvoj storitveno orientirane digitalne platforme z uporabo mikroročunalnikov (ESP & RaspberryPi) in razvoj nadzornih algoritmov.

Začeli smo izvajati nov obsežen mednarodni projekt HYPER, ki se nahaja na preseku energetike, zelenega prehoda in digitalizacije. Cilj projekta je razviti metodo za zeleno proizvodnjo vodikovega peroksida. Klasični postopek temelji na uporabi zemeljskega plina in posledično povzroča emisije CO₂. Novi predlagani postopek pa proizvaja vodikov peroksid iz vode ter s pomočjo elektrike iz obnovljivih virov in v veliki meri eliminira emisije CO₂. Vloga našega odseka skupaj s Kemijskim inštitutom je razvoj in avtomatizacije pomembnega dela tehnološkega postopka ter sklopitev sistema s trgom električne energije z namenom izkoriščati poceni energijo v času viškov.

Pri projektu RUBY razvijamo napredne tehnike in namensko strojno opremo za nadzor, diagnostiko, prognostiko in optimizacijo gorivnih celic PEM in SOFC s ciljem povečanja učinkovitosti in podaljšanja življenjske dobe. Naša skupina je razvila niz diagnostičnih algoritmov za aktivno in pasivno diagnostiko trdnooksidnih gorivnih celic. Naš poseben doprinos predstavlja statistični pristop k diagnostični fuziji, ki združuje vse razpoložljive simptome in izračuna seznam osumljenih napak s pripadajočo mero verjetnosti.

Pri sorodnem projektu REACTT pa smo razvili vgrajeno tehnološko platformo, ki podpira optimalno in ekonomično delovanje ter dolgo življenjsko dobo elektrolizerjev s trdnim oksidom (SOE in rSOC), hkrati pa zagotavlja prenosljivost, razširljivost in preprosto upravljanje. Najodmevnejši prispevek naše ekipe je inovativen elektronski modul za zunanje vzbujanje skladov za namene sprotne elektrokemične impedančne spektroskopije. Zasnovan je kot tokovni generator, ki deluje v seriji s privzetim (napetostnim) napajalnikom. Sposoben je vzbujati sklad s poljubnim časovnim signalom v frekvenčnem področju do 18 kHz in hkrati zagotavljati do 200 A enosmerne komponente toka v sklad.



Slika 4: Projekt REACTT – elektronski modul za neinvazivno diagnostiko elektrolizerjev s trdnim elektrolitom (SOEC)

Pridobitev novih mednarodnih raziskovalnih projektov.



Slika 5: Avtomatski sistem za končno kontrolo kakovosti tip ZKG za podjetje Domel (faza razvoja in izdelave na IJS)

Rezultati pri sodelovanju z industrijo, to je razvoj in izdelava novega ter tehnološko naprednega sistema za končno kontrolo kakovosti za podjetje Domel.



Slika 6: Minimalno invazivni samorazvijajoči se diagnostični sistem proizvodne linije, instaliran v industrijskem okolju.

V okviru projekta HECAT smo skupaj s partnerji razvili inovativno platformo www.MyLabourMarket.com, katere cilj je povečati prepoznavnost in razumevanje trga dela za državljane. Ta platforma, ustvarjena v sodelovanju z Zavodom RS za zaposlovanje, vključuje napredno analitiko podatkov o trgu dela za pomoč posameznikom pri krmarjenju v njihovih osebnih razmerah na trgu dela, vključno s povpraševanjem in ponudbo delovnih mest, plačilnimi stopnjami in stabilnostjo različnih poklicev.

Izvajali smo tudi pogodbeno projekte za slovensko industrijo. Za našega dolgoletnega industrijskega partnerja Domel smo v letu 2023 začeli razvijati nov diagnostični sistem (tip ZKG) za končno kontrolo kakovosti večjih brezkrtačnih DC elektromotorjev. Novo napravo odlikuje izjemno visoka stopnja fleksibilnosti, ki omogoča diagnostiko različnih variant elektromotorjev z različnimi električnimi in geometrijskimi parametri. Adaptacije za različne tipe motorjev se izvajajo programsko, s čimer smo naše naprave še bolj približali konceptoma Industrije 4.0 in Pametnih tovarn.

Izobraževanje strokovnjakov in študentov na področju tehnologije vodenja

Sodelavci odseka redno sodelujemo pri izpeljavi predavanj in vaj ter izvedbi diplomskih, magistrskih in doktorskih del v okviru študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru, Fakulteti za industrijski inženiring Novo mesto, Univerzi v Novi Gorici in na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana v Ljubljani.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Stržinar, Žiga, Pregelj, Boštjan, Škrjanc, Igor, Soft sensor for non-invasive detection of process events based on Eigenresponse Fuzzy Clustering, *Applied soft computing*, 2023, **132**, 109859, DOI: 10.1016/j.asoc.2022.109859
2. Pavšek, Aljaž, Horvat, Martin, Kocijan, Juš, Dynamical and statistical properties of estimated high-dimensional ODE models: the case of the Lorenz '05 type II model, *Chaos*, 2023, **33**, 7, 073127-1-073127-14, DOI: 10.1063/5.0151252
3. Gerškšič, Samo, Vrančič, Damir, Čalić, Dušan, Žerovnik, Gašper, Trkov, Andrej, Kromar, Marjan, Snoj, Luka, A perspective of using nuclear power as a dispatchable power source for covering the daily fluctuations of solar power, *Energy*, 2023, **284**, 128531, DOI: /10.1016/J.ENERGY.2023.128531
4. Perne, Matija, Kocijan, Juš, Božnar, Marija, Grašič, Boštjan, Mlakar, Primož, Hybrid forecasting of wind for air pollution dispersion over complex terrain, *Journal of environmental informatics*, 2023, **41**, 2, 88-103, DOI: 10.3808/jei.202300489
5. Vrančič, Damir, Moura Oliveira, Paulo, Bisták, Pavol, Huba, Mikuláš, Model-free VRFT-based tuning method for PID controllers, *Mathematics*, 2023, **11**, 3, 715, DOI: 10.3390/math11030715
6. Hvala, Nadja, Mlakar, Primož, Grašič, Boštjan, Božnar, Marija, Perne, Matija, Kocijan, Juš, Surrogate tree ensemble model representing 2D population doses over complex terrain in the event of a radiological release into the air, *Progress in nuclear energy*, 2023, **158**, 104594, DOI: 10.1016/j.pnucene.2023.104594

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - RUBY; Robustno in zanesljivo splošno namensko orodje za vodenje gorivnih celic v stacionarnih aplikacijah z namenom izboljšanja učinkovitosti in trajnosti
European Commission
prof. dr. Đani Juričić
2. H2020 - HECAT; Uporaba prebojnih tehnologij za podporo pri upravljanju s trgom dela
European Commission
prof. dr. Pavle Boškosi
3. H2020 - INEVITABLE; Optimizacija in izboljšanje procesov v jeklarski industriji z uporabo digitalnih tehnologij
European Commission
dr. Dejan Gradišar
4. H2020 - REACTT; Napredna orodja za diagnostiko in vodenje sistemov trdo oksidnih celic z namenom podaljšanja življenjske dobe
European Commission
prof. dr. Đani Juričić
5. Fotoluminiscenca kalcita: razvoj orodja za paleotermometrijo, potencialno uporabnega na terenu
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Matija Perne
6. OE - AI REDGIO 5.0; Združenje regij in (E)DIH-ov za uporabo umetne inteligence na robu s strani malih in srednje velikih proizvodnih podjetij evropske industrije 5.0
European Commission
dr. Miha Glavan
7. OE - HYPER; Elektrokemijski sistem za modularno proizvodnjo vodikovega peroksida na mestu porabnika
European Commission
doc. dr. Gregor Dolanc
8. OE - WASTELESS; Rešitve za kvantifikacijo odpadkov za omejitev okoljskega stresa
European Commission
dr. Dejan Gradišar
7. Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
dr. Boštjan Pregelj
8. Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju
prof. dr. Juš Kocijan
9. Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda
dr. Darko Vrečko
10. Minimalno-invazivni samorazvijajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti
prof. dr. Đani Juričić
11. Večfunkcionalne vodikove tehnologije v podporo balansiranju elektroenergetskega sistema, shranjevanju energije in trgu
dr. Janko Petrovčič
12. „Uptake „: ponovna uporaba vode in blata iz čistilni naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev pripravljenih onesnažil v modelni rastlini paradiznika
dr. Nadja Hvala
13. Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite
prof. dr. Pavle Boškosi
14. Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite
UL EF, UL FRI, IJS
prof. dr. Pavle Boškosi
15. NOO-DIGITOP; Digitalna transformacija robotiziranih tovarn prihodnosti
dr. Miha Glavan

PROGRAMI

1. Sistemi in vodenje
prof. dr. Đani Juričić

PROJEKTI

1. Sinhronizirana kardiorespiratorna koronarna rehabilitacija
prof. dr. Pavle Boškosi
2. Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multi-metodološka empirična analiza
prof. dr. Pavle Boškosi
3. Natančna fizikalno-osnovana ocena stanja ohranjenosti zdravja litij-ionskih baterij na osnovi meritev nizko-frekvenčne impedance s stohastičnim vzbujanjem "AccessTOinternalSOH"
Kemijaki inštitut, Ljubljana
prof. dr. Pavle Boškosi
4. Zrak v kraškem podzemlju kot ponor toplogrednih plinov
doc. dr. Matija Perne
5. Modeliranje trdo-oksidnih gorivnih celic z uporabo stohastični in razločljivi modelov strojnega učenja
prof. dr. Pavle Boškosi
6. Optimizacijsko vodenje pretvornika energije v vodik v povezavi s hidro elektrarno
doc. dr. Gregor Dolanc

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L2-2615 Sofinanciranje L-projekta: Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
prof. dr. Juš Kocijan
2. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
JP CCN Domžale-Kamnik, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
3. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Kolektor Sisteh, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
4. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Komunala Novo mesto, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
5. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Komunala Kranj, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
6. Sofinanciranje L2-4456 „Večfunkcionalne vodikove tehnologije v podporo balansiranju elektroenergetskega sistema, shranjevanju energije in trgu“
DEM, d. o. o.
dr. Janko Petrovčič
7. Sofinanciranje L2-4454 - „Minimalno-invazivni samorazvijajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti“
Domel, d. o. o.
prof. dr. Đani Juričić
8. Izdelava naprave za test ZKG motorjev
Domel, d. o. o.
doc. dr. Gregor Dolanc

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Samo Gerksič, Možnosti pokrivanja dnevnih nihanj proizvodnje električne energije s fotovoltaičnimi paneli z jedrsko elektrarno v sledilnem režimu, 27. 2. 2023
2. prof. dr. Juš Kocijan, Nadomestni mrežni model razširjanja atmosferskega onesnaževala in vtisi s Svetovnega kongresa IFAC 2023 na Japonskem, 20. 9. 2023
3. dr. Tadej Krivec, Simulation of approximated Gaussian process autoregressive models, 6. 3. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Samo Gerksič, Dejan Gradišar, Juš Kocijan, Jernej Mlinarič, Žiga Stržinar, Luka Žnidarič: Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu – AIG '23, Maribor, 13.–14. 4. 2023 (7)
2. Dejan Gradišar: 25. Dan kakovosti – priložnosti za napredek kakovosti: umetna inteligenca, digitalizacija, Novo mesto, 23. 11. 2023 (1)
3. Juš Kocijan: IFAC World Congress 2023, Yokohama, Japonska, 9.–24. 7. 2023 (1)
4. Tadej Krivec: EUROSIM Congress 2023, Amsterdam, Nizozemska, 3.–5. 7. 2023 (1)
5. Jernej Mlinarič: International conference on innovative intelligent industrial production and logistics, Rim, Italija, 15.–17. 11. 2023 (1)
6. Aljaž Pavšek: Nonlinear benchmark 2023, Eindhoven, Nizozemska, 19.–25. 4. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Pavle Boškovič
2. **doc. dr. Gregor Dolanc, vodja odseka**
3. dr. Samo Geršič
4. dr. Miha Glavan
5. dr. Giovanni Godena
6. dr. Dejan Gradišar
7. dr. Nadja Hvala
8. prof. dr. Dani Juričič, znanstveni svetnik
9. prof. dr. Juš Kocijan, znanstveni svetnik
10. doc. dr. Matija Perne
11. dr. Janko Petrovič
12. dr. Boštjan Pregelj
13. prof. dr. Damir Vrančič
14. dr. Darko Vrečko

Mlajši raziskovalci

15. Viktor Andonovikj, mag. inf. in kom. tehnologij
16. Martin Brešar, mag. fiz.
17. Žan Gorenc, mag. inž. el.
18. Žiga Gradišar, mag. fiz.
19. dr. Tadej Krivec*
20. Jernej Mlinarič, mag. inž. meh.
21. Aljaž Pavšek, mag. fiz.
22. Matic Rutnik, mag. inž. meh.
23. Žiga Stržinar, mag. inž. el.
24. Luka Žnidarič, mag. mat.

Strokovni sodelavci

25. Stanislav Černe, dipl. inž. el.
26. Primož Fajdiga, dipl. inž. el.
27. Viktor Govže, mag. inž. str.
28. David Jure Jovan, mag. inf. in kom. tehnol.

Tehniški in administrativni sodelavci

29. Maja Janežič, univ. dipl. kom.
30. Miroslav Štrubelj

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Andritz OY, Norveška
2. AVL List GmbH, Avstrija
3. BFI – Betriebsforschungsinstitut, Nemčija
4. CEA – French Alternative Energies and Atomic Energy Commission
5. Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik
6. Copenhagen Business School, Danska
7. Danfoss Trata, Ljubljana
8. DEM – Dravske elektrarne, Maribor
9. Domel, Železniki
10. Eibar Precision Casting, Španija
11. Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH, Nemčija
12. EPFL – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Švica
13. Fundacion Azterlan, Španija
14. GEN energija, Ljubljana
15. Helios, Domžale
16. HESS – Hidroelektrarne na Spodnji Savi, Brežice
17. INERIS – The French National Institute for Industrial Environment and Risks, Francija
18. Kemijski inštitut, Ljubljana
19. Kolektor Sisteh, Ljubljana Črnuče
20. Komunala, Kranj
21. Komunala, Novo mesto
22. KTH – The Royal Institute of Technology, Švedska
23. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana
24. MEIS, Ljubljana
25. Nuklearna elektrarna, Krško
26. Steklarna, Hrastnik
27. Roskilde University, Danska
28. Sciences Po, Francija
29. Sidenor Aceros Especiales, Španija
30. Siemens, Ljubljana
31. ASTA Energy Solutions AG
32. SIJ Acroni, Jesenice
33. Sintef, Norveška
34. HZDR (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf), Nemčija
35. South East Technological University, Irska
36. South Eastern Technical University SETU Waterford, Irska
37. Tecnalia, Španija
38. TUG - Technical University of Graz, Avstrija
39. UNISA - University of Salerno, Italija
40. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta
41. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
42. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
43. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
44. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
45. Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko
46. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za aplikativno naravoslovje
47. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
48. Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta
49. UTAD - University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Portugalska
50. Voestalpine Stahl, Avstrija
51. VTT - Technical Research Centre of Finland, Finska
52. Zavod Center ARI, Ljubljana
53. Zavod KC STV, Ljubljana
54. Zavod Republike Slovenije za zaposlovanje, Ljubljana

ODSEK ZA UMETNO INTELIGENCO

E-3

Področje dela Odseka za umetno inteligenco (<http://ailab.ijs.si/>) so informacijske tehnologije, ki temeljijo na metodah in tehnologijah umetne inteligence. Najpomembnejša področja raziskav in razvoja so: analiza podatkov s poudarkom na tekstovnih, spletnih, večpredstavnih in dinamičnih podatkih, tehnike za analizo velikih količin podatkov v realnem času, strojno učenje in modeliranje velikih omrežij, vizualizacija kompleksnih podatkov, semantične tehnologije, jezikovne tehnologije, metode sklepanja ter širše področje raziskav upravljanja z znanjem. Odsek za umetno inteligenco združuje sodelavce z znanji in izkušnjami z različnih področij umetne inteligence. Poleg objav raziskovalnih rezultatov so sodelavci razvili vrsto metod in orodij za čezmodalno analizo podatkov. Najpomembnejša so: Text-Garden, knjižnica za analizo besedil (<https://ailab.ijs.si/tools/text-garden/>); OntoGen (<https://ailab.ijs.si/tools/ontogen-2/>), orodje za gradnjo ontologij iz večpredstavnih podatkov; Document-Atlas (<https://ailab.ijs.si/publications/past-projects/documentatlas/>), orodje za vizualizacijo kompleksnih podatkov; Atlas of Slovenian Science (<http://scienceatlas.ijs.si/>), portal za analizo aktivnosti raziskovalcev; Enrycher (<http://enrycher.ijs.si/>), sistem za semantično anotacijo besedil; SearchPoint, portal za vizualno in kontekstno spletno iskanje; OntoPlus (<https://ailab.ijs.si/tools/ontoplus/>), metodologija za polavtomatsko razširitev ontologij; Contextify, orodje za kontekstno upravljanje z e-pošto in osebnim imenikom; Qminer (<http://qminer.ijs.si/>), platforma za analizo in procesiranje strukturiranih in nestrukturiranih podatkovnih tokov na velikih skalah v realnem času; NewsFeed (<https://ailab.ijs.si/tools/newsfeed/>), prečiščen, neprekinjen, agregiran tok trenutnih semantično obogatenih novic iz RSS usposobljenih internetnih strani s celega sveta; EventRegistry (<http://eventregistry.org/>), sistem za identifikacijo dogodkov v svetovnih medijih, ki vključuje tudi komponento za DarkNET; Wikifier (<http://wikifier.org/>), sistem za anotacijo dokumentov, ki vsebujejo povezave na internetne strani Wikipedije; StreamStory, orodje za analizo podatkovnih tokov, ki omogoča alternativno vizualizacijo s pomočjo multivariantnih podatkovnih tokov z uporabo modela Markova; Videlectures Explorer, orodje, ki omogoča uporabnikom brskanje po podatkovnih bazah predavanj ter iskanje njihovih medsebojnih skupnih lastnosti, EDSA dashboard, orodje za agregiranje podatkov o povpraševanju (po prostih delovnih mestih) in ponudbi (izobraževalnega materiala) na področju znanosti o podatkih znotraj Evrope; nextPin, orodje za analizo časovnih sprememb lokacijskih podatkov; infominer, sistem za polavtomatsko analizo dokumentov; Connection tool, orodje, ki z analizo podatkov sistema EventRegistry omogoča uporabniku sledenje poslovnih in zasebnih imen v odvisnosti od časa, določitev splošnih relacij med njimi in spremljanje sprememb teh relacij (temelji na konceptih znotraj Wikipedije); Graph Based Analytics, storitev za identifikacijo poslovnih relacij na podlagi tekstovnih podatkov; streamfusion, univerzalni sistem za predprocesiranje heterogenih tokovnih podatkov; ELEXIS ER, dodatek za sistem Event Registry, prilagojen leksikografskim vsebinam; platforma, ki omogoča zaznavanje in vizualizacijo anomalij v javnih naročilih in finančnih transakcijah; Infominer, orodje za interaktivno analizo podatkov; WaterObservatory (<http://naiades.ijs.si/>); sistem za avtomatsko generiranje splošnih opisov MultiCOMET (<https://multicomet.ijs.si/>), SmellTracker (<https://odeuropa.ijs.si/>), sledenje uporabe UI v proizvodni industriji EUJapan Observatory (<https://eujapan.ijs.si/>), Terminološko središče Slovenije, orodje za pretvorbo časovnih vrst v sistemska stanja (<http://atena.ijs.si:8080/>), in Slovenski observatorij za umetno inteligenco (<http://siai.ijs.si/>). Strategija odseka je poleg znanstvene odličnosti predvsem vzdrževati tesno sodelovanje z industrijo in prenašanje rezultatov v poslovna okolja.

V letu 2023 smo bili zelo aktivni pri prijavi novih projektov, predvsem v okviru Obzorja Evropa. Začeli smo delati na desetih novih projektih: Apriori, Graph-Massivizer, TWON, Nancy, Plooto, Ai4Gov, FAME, PREPARE, ELIAS, in HumAIne, ter pridobili financiranje za en nov evropski projekt, ki se bo začel v letu 2024. Nadaljujemo prakso uspešnega vključevanja slovenske industrije v evropski raziskovalni prostor, do zdaj smo tako vključili številna posamična partnerska podjetja.

V zadnjih 21 letih smo sodelavci Odseka za umetno inteligenco uspešno sodelovali pri 90 evropskih projektih. V letu 2023 smo uspešno zaključili pet evropskih projektov in nadaljevali delo na trinajstih projektih. Hkrati smo sodelovali tudi pri osmih nacionalnih projektih.



Vodja:

prof. dr. Dunja Mladenec

Uspešno smo zaključili pet projektov Obzorja 2020: FACTLOG (*Energy-aware Factory Analytics for Process Industries*); STAR (*Safe and Trusted Human Centric Artificial Intelligence in Future Manufacturing Lines*); INFINITECH (*Tailored IoT & BigData Sandboxes and Testbeds for Smart, Autonomous and Personalized Services in the European Finance and Insurance Services Ecosystem*); ODEUROPA (*Negotiating Olfactory and Sensory Experiences in Cultural Heritage Practice and Research*); CLEOPATRA (*Cross-lingual Event-centric Open Analytics Research Academy*).

Na področju statističnega modeliranja podatkov in strojnega učenja smo v letu 2023 začeli delati na treh novih projektih (*Plooto*, *APRIORI* in *HumAIne*) in nadaljevali delo na projektu *CONDUCTOR*. Projekta FACTLOG in STAR sta se v letu 2023 uspešno zaključila. Cilj projekta FACTLOG (*Energy-aware Factory Analytics for Process Industries*) je podpora procesne industrije skozi razvoj digitalnih dvojčkov. Digitalni dvojčki kot digitalna preslikava tovarne, podprta z analitskimi sistemi, omogoča funkcije, kot so: proženje alarmov ob anomalijah, načrtovanje optimalnega vrstnega reda proizvodnje in nastavljanje ustreznih parametrov proizvodnih strojev. S partnerji smo oblikovali ogrodje, v katerem modeli strojnega učenja delujejo skupaj z modeli domenskih strokovnjakov in algoritmi za optimizacijo in reševanje nalog industrije. Naši glavni prispevki v preteklem letu so bili (a) implementacija modelov umetne inteligence za napovedovanje nečistoč v procesih destilacije turške naftne rafinerije Tüpraş, (b) implementacija modelov umetne inteligence za modeliranje energetske porabe v turški naftni rafineriji Tüpraş ter (c) razvoj in implementacija modelov umetne inteligence za napovedovanje žvepla v procesih destilacije turške naftne rafinerije Tüpraş. Razviti modeli so bili združeni v skupen sistem – AI API in nadgrajeni z grafom znanja. Na ta način je bilo postavljeno ogrodje za generalizacijo rešitve za široko industrijsko uporabo. Razviti modeli so bili uspešno integrirani v skupno digitalno platformo. Projekt se je v letu 2023 uspešno zaključil. Evropski projekt Obzorja 2020 STAR (*Safe and Trusted Human Centric Artificial Intelligence in Future Manufacturing Lines*) se je začel januarja 2021 s ciljem uvajanja novih tehnologij umetne inteligence za dinamična in nepredvidljiva proizvodna okolja. Sistemi umetne inteligence se že uporabljajo za izboljšanje avtomatizacije proizvodnje v proizvodnem sektorju, vendar projekt STAR želi izboljšati tudi zanesljivost, ko sistemi nadomeščajo človeške naloge v dinamičnih operacijah. Projekt je namenjen raziskovanju in integraciji vodilnih tehnologij, kot so aktivno učenje, simulirana resničnost, razložljiva umetna inteligenca, na človeka osredotočeni digitalni dvojčki, napredno učenje s krepitvijo in mehanizmi kibernetске obrambe. Projekt se je v letu 2023 uspešno zaključil. Skupaj z Odsekom E7 smo nadaljevali delo na evropskem projektu CONDUCTOR (*Fleet and Traffic Management System for Conducting future cooperative mobility*). Cilj projekta je oblikovati, integrirati in demonstrirati napredno upravljanje prometa, ki bo omogočilo učinkovit in globalno optimalen prevoz potnikov in blaga ter bo hkrati omogočilo enostavno večmodalnost in interoperabilnost transporta z uporabo dinamične optimizacije in prednostnim upravljanjem vozil (avtomatiziranih in konvencionalnih). V ta namen bo CONDUCTOR gradil na najsodobnejših rešitvah za upravljanje prometa v ekosistemu CCAM (Connected, Cooperative and Autonomous Mobility) in razvil naslednjo generacijo simulacijskih modelov in orodij na različnih ravneh, ki jih omogočata UI in združitev različnih virov podatkov, ter tako omogočil izboljšanje učinkovitosti prometnih operaterjev in logistike. V preteklem letu nam je uspelo postaviti podatkovno infrastrukturo za integracijo več modalnih podatkov s časovnimi vrstami v realnem času. Pri tem sta bila določen podatkovni model in način modeliranja – reprezentacije podatkov kot enoten kontekst določena v času in prostoru. V ta namen smo uporabili tehnologije grafov in metode modeliranja podatkov grafa. V procesu tehnološkega snovanja je bilo postavljeno tudi osnovno izhodišče za implementacijo napovednih modelov potreb prevozov. Prav tako so bili definirani primeri uporabe ter ključni dejavniki za validacijo razvitih rešitev (KPI). Za testiranje in validacijo bodo analitične funkcionalnosti integrirane in implementirane v pilotnem okolju, ki vključuje regijo SLO-IT-HR-AUT.

Predstavljeni primeri uporabe bodo tako vključevali integrirano upravljanje transporta in odziv na dogodke v realnem času, kot so dogodki, vezani na infrastrukturo, dogodki povpraševanje, vremenski dogodki itd. Pri projektu *Plooto* (*Product Passport through Twinning of Circular Value Chains*) partnerji razvijamo informacijski sistem za podporo proizvodnji pri prehodu v krožno gospodarstvo. Sistem bo omogočal zmanjšanje količine odpadkov in sledljivost sekundarnih surovin (SRM) po celotni dobavni verigi prek medsebojno povezanih digitalnih storitev. Zagotovil bo tudi informacijsko infrastrukturo in orodja za modeliranje proizvodnje izdelkov in dobavnih verig. Rešitev bo pilotno uporabljena v treh različnih krožnih dobavnih verigah. Naš odsek znotraj projekta *Plooto* razvija orodja za modeliranje produktov, proizvodnih procesov in dobavnih verig. Naša orodja so namenjena razvoju posameznih komponent, tako imenovanih kognitivnih digitalnih dvojčkov. Hkrati naš odsek razvija tudi izobraževalne module in gradiva v zvezi s tako imenovanim zelenim dogovorom, podnebnimi spremembami in trajnostnim razvojem s poudarkom na

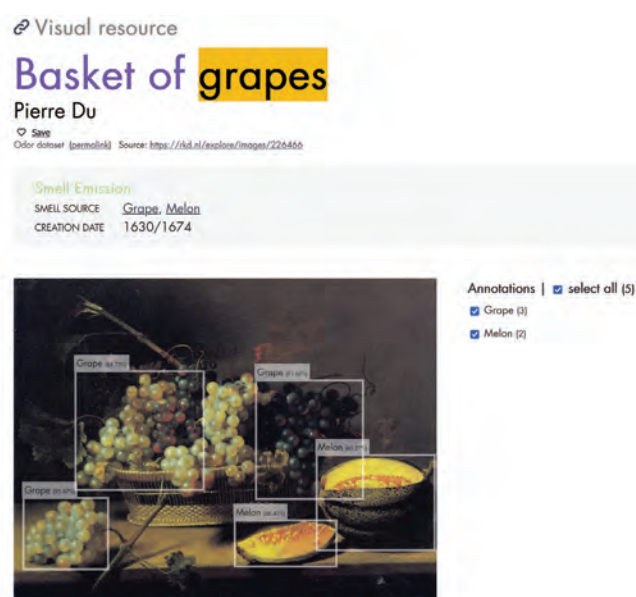


Slika 1: Odeuropa Smell Explorer je inovativno spletno raziskovalno orodje, ki združuje zgodovinske podatke iz 23.000 slik in 62.000 besedil v šestih jezikih. Z uporabo strojnega učenja prepozna in kategorizira vonjave. Uporabniki lahko raziskujejo pomembne vonjave Evrope ter sledijo, kako so bile zgodovinsko upodobljene, opisane in doživete.

krožnem gospodarstvu. V letu 2023 smo razvili kurikulum, ki je zasnovan tako, da udeležence seznani s konceptom krožnega gospodarstva, njegovim pomenom, ključnimi načeli in aplikacijami v različnih panogah. Kurikulum bo služil kot okvir za zbiranje različnih odprtih izobraževalnih virov (OER) na to temo in ta gradiva smo že začeli zbirati. Objavili smo tudi razpis za razvoj teh gradiv v okviru obstoječega globalnega mentorskega programa Open Education for a Better World (OE4BW.org), ki je mednarodni spletni mentorski program, ki podpira razvoj in implementacijo prosto dostopnih modulov in virov za spletno izobraževanje o temah, povezanih s cilji trajnostnega razvoja ZN. Kot del projekta Marie Skłodowska-Curie za doktorske mreže **APRIORI** (*Active Product-to-Process Learning for Improving Critical Components Performance*) smo v našem odseku za zaposlitev izbrali enega doktorskega kandidata. Njegovo delo se osredotoča na temo *Aktivno učenje za razločljivost pri proizvodnji izdelkov*. Glavna dejavnost projekta v prvem letu je bila zaposlitev doktorskih kandidatov. Projekt je bil prav tako predstavljen na uvodnem srečanju v Leuvenu. Projekt **HumAIne** (*Hybrid Human-AI Decision Support for Enhanced Human Empowerment in Dynamic Situations*) v okviru programa Obzorje Evropa se je začel oktobra 2023. Cilj projekta je ustvariti operacijski sistem za sodelovanje med človekom in umetno inteligenco. Namen je omogočiti razvoj naprednih aplikacij za sprejemanje odločitev v različnih industrijskih sektorjih. Projekt želi omogočiti AI integratorjem, da ustvarijo sodelovalne sisteme, ki presegajo izolirane AI sisteme in človeška prizadevanja. V projektu bodo integrirani štirje ključni elementi: aktivno učenje, nevro-simbolično učenje, učenje rojev in razločljiva umetna inteligenca. Ti napredni pristopi postavljajo človeškega operaterja v središče, omogočajo popoln nadzor in razumevanje izvedenih operacij ter zagotavljajo brezhibno sodelovanje med ljudmi in AI.

Na področju **analize kompleksnih sistemov** smo v letu 2023 uspešno zaključili projekt **Slovenski observatorij umetne inteligence**. Portal za sprotno spremljanje področja umetne inteligence tako v Sloveniji kot tudi v primerjavi z drugimi državami je prosto dostopen na <http://siai.ijs.si/>. Omogoča analitiko širokega nabora podatkov, ki so dostopni kot vizualizacije, tabele in sprotno generirana poročila prek uporabniškega vmesnika. V letu 2023 smo sistem nadgradili s številnimi dodatnimi prosto dostopnimi podatkovnimi viri. Observatorij omogoča spremljanje številnih lokalnih indikatorjev (na primer s področij raziskovanja, patentov, novic, financiranja), raziskovalcev, primerjav z drugimi državami, podjetij s področja UI, trendov in politik. Poleg osnovne analitike in preiskovanja podatkov, pridobljenih iz različnih virov, sistem omogoča tudi bolj zahtevne vpoglede v stanje slovenske umetne inteligence z uporabo semantičnih tehnologij. Na pilotnem projektu **Si-Twin** smo implementirali arhitekturo digitalnega dvojčka države. Arhitektura omogoča fuzijo podatkov iz različnih senzorskih in tekstovnih virov, kjer se senzorski podatki ustrezno agregirajo v različnih fazah. V prvi fazi se podatki agregirajo v času na urni ravni, v drugi fazi pa se podatki agregirajo še v prostoru, če ima senzor na voljo GPS lokacijo. Prostorska agregacija poteka na različnih ravneh, in sicer na kvadratnih območjih občine, statistične regije in na ravni celotne države, ki so veliki 1000 × 1000 metrov. Uporabniški vmesnik omogoča prikaz senzorjev na zemljevidu in pripadajočih vrednosti, ki so prikazane na interaktivnih grafih. Implementirali smo tudi osnovno različico chatbota za interakcijo z omejeno bazo podatkov. Na koncu projekta smo izvedli še predstavitev produkta in izobraževanje potencialnih uporabnikov. Projekt Obzorja Evropa **Graph-Massivizer** (*Massive Graph Processing of Extreme Data for a Sustainable Economy, Society, and Environment*) se je začel januarja 2023 z namenom raziskovanja in razvoja visoko zmogljive, razširljive in trajnostne platforme za obdelavo informacij in sklepanje, ki temelji na ekstremno obsežnem naboru podatkovnih mrež. Med cilji projekta je dostaviti nabor petih odprtokodnih programskih orodij in podatkovnih baz omrežnih podatkov FAIR.

Na področju **analiz podatkovnih tokov** smo uspešno zaključili vodilni projekt **INFINITECH** (*Tailored IoT & BigData Sandboxes and Testbeds for Smart, Autonomous and Personalized Services in the European Finance and Insurance Services Ecosystem*). Projekt je vključeval 15 različnih pilotov s področja finančne tehnologije (Fintech). Eden od pilotov je zajemal razvoj analitične platforme za *Preprečevanje pranja denarja in financiranje terorizma* (PAMLS) za potrebe nadzora finančnih institucij, pri čemer je naš partner Banka Slovenije. V platformo PAMLS smo integrirali razvite metode umetne inteligence in preverili funkcionalnosti na dejanskih obogatenih transakcijskih podatkih. Drug pomemben rezultat projekta je Pseudo-anonimizator – storitev za psevdo-anonimizacijo podatkov, ki je bila nameščena in uporabljena za psevdo-anonimizacijo podatkov, izmenjanih med različnimi deležniki. Projekt Obzorja Evropa **enRichMyData** (*The Enabling Data Enrichment Pipelines for AI-driven Business Products and Services*) razvija odprto programsko orodje – enRichMyData orodje, ki vključuje praktične, robustne in razširljive komponente za podporo organizacijam pri obogatitvi njihovih



Slika 2: Primer vizualnega vira (iskalni izraz: GROZDJE)

podatkov z referenčnimi podatki, o katerih imajo lahko omejeno znanje. Prav tako podpira ponudnike podatkov pri zagotavljanju, da so njihovi podatki ponovno uporabni in dostopni v procesih obogatitve podatkov. Oddelek za umetno inteligenco razvija orodja za obogatitev podatkov in vodi enega od poslovnih primerov, InnoGraph, kjer je glavni cilj zgraditi grafično predstavitev znanja o ekosistemu inovacij na področju umetne inteligence. Skupaj z E6 nadaljujemo delo pri projektu Obzorja Evropa *NANCY (An Artificial Intelligent Aided Unified Network for Secure Beyond 5G Long Term Evolution)*, ki ima cilj uvesti inteligentno in varno arhitekturo za omrežje brezžičnih komunikacij pete generacije (B5G) s pomočjo umetne inteligence in tehnologije veriženja blokov. Projekt se je začel januarja 2023 in namerava omogočiti varno in inteligentno upravljanje virov, orkestracijo na osnovi umetne inteligence ter prilagodljivo omrežno arhitekturo. V prvem letu projekta smo raziskovali in razvijali arhitekturo NANCY ter izvedli eksperimentalno fazo projekta. Projekt Obzorja Evropa *FAME (Federated decentralized trusted dAta Marketplace for Embedded finance)* se je prav tako začel januarja 2023 in ima cilj razviti varno federalno urejeno tržnico podatkov za vgrajene finance (EmFi), da bi pokazal polni potencial podatkovne ekonomije. FAME bo razvil federalno urejeno okolje v oblaku z več ponudniki EmFi podatkovnih virov, vključno z nabori podatkov in modeli umetne inteligence. Cilj projekta je izvesti več pilotnih projektov.

Na področju **analize besedil in omrežij ter jezikovnih tehnologij** smo v letu 2023 začeli delati na dveh novih evropskih projektih Obzorja Evropa: *TWON* in *PREPARE*. Projekt *TWON (TWIn of Online social Networks)* ima zastavljen cilj razviti nov empirični način za sistematično proučevanje učinkov, ki so posledica posameznih izbir pri oblikovanju mehanizmov znotraj spletnih družbenih omrežij (SDO) z uporabo digitalnih dvojčkov družbenih omrežij, imenovanih TWONi. Obstaja hipoteza, da personalizacijski algoritmi ustvarjajo tako imenovane filtrijske mehurčke in komore odmeva, kjer se mnenja uporabnikov krepijo, kar povečuje procese polarizacije mnenj. Kljub pogostim pozivom k ukrepom za zmanjšanje takšnih neželenih učinkov zaenkrat še ni dogovorjenega načina, s katerim bi lahko ocenili učinke spreminjanja parametrov oblikovanja posameznih storitev družbenega omrežja. Ključno je, da kompleksnost takšnih sistemov otežuje prenos rezultatov izoliranih eksperimentov v oceno celotnih učinkov. Orodje TWON bomo lahko uporabili za proučevanje tako imenovanih counterfactuals, na primer: kako bi izgledali učinki, če bi bilo SDO oblikovano drugače? Projekt se je začel aprila 2023, naš oddelek pa vodi dva delovna paketa: implementacijo TWON in delovni paket, povezan z zakonodajnimi in etičnimi vprašanji. Projekt *PREPARE (Personalized rehabilitation via novel AI patient stratification strategies)* programa Obzorje Evropa se je začel junija 2023 s ciljem napredovanja personalizirane in celostne rehabilitacije za obolenja mišično-skeletnega sistema. To bo doseženo z ustvarjanjem metodologij za pridobivanje ustreznih informacij iz bolnikovih kartotek, implementacijo novih strategij stratifikacije bolnikov in zagotavljanjem prilagojenih priporočil za zdravljenje. S tem bi opolnomočili uporabnike orodja, zlasti zdravnike, da bodo lažje pomagali bolnikom in z njimi soočali terapiji. V okviru projekta je naš odsek zadolžen za razvoj orodja za pretvorbo ter združevanje nestrukturiranih in strukturiranih zdravstvenih podatkov. Primarni cilji te naloge vključujejo razvoj metod umetne inteligence za odkrivanje in pridobivanje ustreznih informacij iz zdravstvenih podatkov, vključevanje večjezične podpore za razširitev uporabnosti modela in vključevanje človeških interakcij v proces usposabljanja modela. Uspešno smo zaključili projekt *CLEOPATRA (Cross-lingual Event-centric Open Analytics Research Academy)* programa Obzorje Evropa, ki je potekal v okviru programa Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Network od januarja 2019 do junija 2023. Doktorski študenti so se udeležili konference, kjer so predstavili svoje raziskovalne dosežke, prispevke k raziskovalnemu področju in načrte za prihodnjo kariero. Poleg tega sta bili oddani obe doktorski disertaciji, prispevali smo poglavje z naslovom *Analiza ovir pri širjenju novic, osredotočenih na dogodke*, ki je bilo vključeno v *Cleopatra OA Book*, ter objavili več člankov v revijah in na konferencah. V letu 2023 smo zaključili projekt **Razvoj slovenščine v digitalnem okolju (RSDO)**. Operacijo Razvoj slovenščine v digitalnem okolju sta sofinancirala Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. Operacija se je izvajala v okviru Operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike v obdobju 2014–2020. Med rezultati so novi jezikovni viri, orodja za procesiranje slovenščine in aplikacije (nadgradnja besedilnih korpusov, prepoznavna govora, semantične tehnologije, strojno prevajanje, terminološki portal, vzdrževanje jezikovnotehnološkega centra – CLARIN.SI). V letu 2023 smo tudi končali projekt

SLOKIT (Korpusni informator in besedilni analizator). V okviru projekta sta nastali dve popolnoma novi jezikovni orodji. Prvi je povzemalnik korpusnih podatkov Korpusnik, ki ponuja hiter osnovni pregled rabe besed v petih korpusih slovenskega jezika. Uporabnik lahko tako na enem mestu preveri rabo besed v standardni, sprotni, akademski, spletni in govorjeni slovenščini. Drugi vidnejši rezultat projekta je aplikacija za stavčno poenostavljanje in analizo SENTA. Aplikacija identificira in poenostavi kompleksne povedi, enostavne povedi pa pusti nespremenjene. Pri tem pripravi tudi analizo z osnovno statistiko besedila. Posebnost obeh virov je to, da sta prilagojena tudi uporabi oseb s posebnimi potrebami. Poleg tega je bila v okviru projekta izvedena nadgradnja podatkov v referenčnem

Uspešno smo zaključili pet projektov, ki se financirajo na nacionalni in regionalni ravni: Observatorij slovenske umetne inteligence; Digitalizacija analitične podpore v Nacionalnem centru za krizno upravljanje - Si-Twin; Razvoj slovenščine v digitalnem okolju (RSDO); SLOKIT (Korpusni informator in besedilni analizator); SEMTEH (Povezane baze znanja za semantične tehnologije).



Slika 3: Levo: Portal Slovenski observatorij za umetno inteligenco. Desno: Graf prikazuje število objavljenih znanstvenih člankov o strojnem učenju. Prikazane so objave z vsaj enim avtorjem posamezne države v obdobju med letoma 1985 in 2022. Vir podatkov je Microsoft Academic Graph.

korpusu Gigafida in referenčnem korpusu govorne slovenščine Gos. V okviru projekta so bile izvedene tudi tri delavnice, namenjene predstavitvi virov osebam s posebnimi potrebami in njihovim strokovnim sodelavcem. Končali smo tudi projekt SEMTEH (Povezane baze znanja za semantične tehnologije), ki ga je v okviru Javnega razpisa za (so)financiranje projektov, namenjenih gradnji in posodabljanju infrastrukture za slovenski jezik v digitalnem okolju 2023 (JR-infrastruktura-SJ-2023), financiralo Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije. Na repozitoriju CLARIN.SI je dostopna objavljena prva različica semantičnega leksikona Open Slovene WordNet (OSWN 1.0). Gre za jezikovni vir, ki vsebuje sinsete – skupke sopomenskih izrazov (literalov), ki ponazarjajo določen koncept. Vsi so bili ročno pregledani. V različici 1.0 je vsak sinset opremljen tudi z angleško definicijo in njenim strojnim prevodom v slovenščino ter z medjezikovnim indeksom, prek katerega je slovenske izraze mogoče povezati z izrazi v leksikonih za druge jezike. Podatki iz OSWN so integrirani tudi v Digitalno slovarsko bazo za slovenščino, ki se gradi na Centru za jezikovne vire in tehnologije Univerze v Ljubljani. Povezave med ID-ji sinsetov in ID-ji pomenov so v bazi prav tako odprto dostopne.

Skupaj z odsekom za tehnologije znanja (E8) smo v letu 2023 še naprej vodili **slovensko raziskovalno infrastrukturo CLARIN.SI**, ki omogoča enostavno objavo in trajnosten dostop do digitalnih jezikovnih podatkov za raziskovalce v humanistiki in družbenih vedah. Poleg tega, da smo ponudili podporo za repozitorij CLARIN.SI, smo nanj naložili številne podatke (leksikalne vire, korpus, sezname) in tehnologije za procesiranje slovenskega jezika. Sodelavci CJVT so s finančno podporo CLARIN.SI pripravili **spletišče s celostnim popisom sistemov označevanja slovenskih korpusov, spletišče CJVT Wiki**, ki ponuja pregled nad jezikoslovnim označevanjem slovenskih besedil. Ponuja enostaven pregled korakov, ki so potrebni za razvoj različnih jezikovnih tehnologij. Celovito in na enem mestu v slovenščini in v angleščini je predstavljena slovenska infrastruktura za korpusno označevanje, ki je temelj za razvoj ne le jezikovnih priročnikov, temveč tudi jezikovnih tehnologij. CJVT Wiki predstavlja označevanje korpusov po označevalnih ravneh, kot so tokenizacija, stavčna segmentacija in lematizacija. V letu 2023 je potekala tudi izdelava učne množice označenih avtomatsko izluščenih kolokacijskih podatkov. V okviru projekta je bila izdelana učna množica kolokacijskih kandidatov, ki so bili avtomatsko izluščeni iz referenčnega korpusa Gigafida 2.0 in označeni glede na njihovo kolokacijsko ustreznost. Učna množica bo integrirana tudi v Digitalno slovarsko bazo za slovenščino na Centru za jezikovne vire in tehnologije Univerze v Ljubljani.

Na področju **semantičnih tehnologij** smo uspešno zaključili delo pri projektu H2020 ODEUROPA (Negotiating Olfactory and Sensory Experiences in Cultural Heritage Practice and Research). Projekt je uporabljal najsodobnejše pristope umetne inteligence za obdelavo besedil in slik kulturne dediščine, ki segajo čez štiri stoletja evropske zgodovine. Cilj projekta je bil identificirati in slediti, kako so se vonjave izražale v različnih jezikih, s katerimi kraji so bile povezane ter katere vrste dogodkov in praks so uspešno opisovale vonjave. V zadnjem letu projekta so partnerji dokončali razvoj orodij projekta, organizirali in sodelovali na dogodkih, povezanih z vonjavami (delavnice, konference, širjenje informacij javnosti), ter odkrili pomembno število besedilnih in vizualnih virov, povezanih z vonjavami, iz razpoložljivih podatkovnih virov. Naš odsek je prispeval k ekstrakciji znanja o vonjavah iz slovenskih korpusov Odeuropa. Razvili smo metodologijo za natančno zaznavanje čustev in izluščili čustva, povezana z vonjavami, v angleščini, francoščini, nizozemščini in italijanščini. Novembra 2023 je naš odsek sodeloval na zaključnem dogodku Odeuropa Smell Culture Fair. Dogodek je privabil raziskovalce s področja vonjav, zgodovinarje in IT-strokovnjake iz različnih evropskih institucij ter postavil temelje za oceno in potrditev rezultatov projekta.

Odeuropa, kot so Smell Explorer, Encyclopedia of Smell History and Heritage, Olfactory Storytelling Toolkit in Nosebooks Demonstrators.

Pod raziskave na področju **upravljanja znanja** štejemo razvoj novih poslovnih in organizacijskih modelov ter storitev s poudarkom na uvajanje in prilagajanje tehnologij širšega področja umetne inteligence v realna uporabniška okolja. Projekt **HumanE-AI-Net** (*Making artificial intelligence human-centric*) programa Obzorje 2020 združuje vodilna evropska raziskovalna središča, univerze in industrijska podjetja v mrežo centrov odličnosti. Projekt, ki se je začel 1. septembra 2020, vključuje vodilne globalne laboratorije za umetno inteligenco, ki sodelujejo s ključnimi igralci na področjih, kot so interakcije med človekom in računalnikom, kognitivne, družbene in kompleksne znanosti. Leta 2023 je Odsek za umetno inteligenco sodeloval pri mikroprojektu, ki se osredotoča na razvoj novih metod umetne inteligence za analizo podatkov iz poročil bolnikov in pridobivanje interpretabilnih razlag in novega znanja o redkih boleznih. Poseben poudarek je bila kohorta sindroma Kleefstra, pridobljena iz registra Genida (Genetic of Intellectual Disability and Autism Spectrum Disorders registry), ki zbira podatke, o katerih poročajo negovalci, saj so zajeti bolniki z redkimi boleznimi otroci in/ali odrasli z motnjami v duševnem razvoju. Cilj je bil pokazati, katere informacije vsebujejo zbrani podatki in kako jih predstaviti kliničnim zdravnikom na strukturiran, pronicljiv in koristen način. Novi projekt **ELIAS** (*European Lighthouse of AI for Sustainability*) programa Obzorje Evropa se je začel septembra 2023 s ciljem postati evropski tako imenovan Lighthouse projekt umetne inteligence za trajnost. Projekt temelji na izjemno uspešnem in mednarodno priznanem Evropskem laboratoriju za učenje in inteligentne sisteme (ELLIS) ter ga širi. ELIAS bo razvil kriterije odličnosti in stebre v okviru ELLIS ter izvajal ukrepe, ki bodo podpirali raziskovalce na področju umetne inteligence in mlade talente v različnih fazah njihove kariere. ELIAS bo razvil tudi tako imenovan entrepreneurship track na področju znanosti, s ciljem privabiti in usposobiti talente na stičišču znanstvene in poslovne inovacije ter vzpostaviti izvirne rešitve umetne inteligence, ki bodo prispevale k trajnostni dolgoročni prihodnosti zemlje, spodbujale povezanost družbe in spoštovalle pravice posameznika. Naš odsek je vključen v pilotni projekt, in sicer prek dela na IRCAI-jevem observatoriju ciljev trajnostnega razvoja (SDG), ki določa specifikacije in zahteve uporabnih primerov, ki bodo upoštewane pri prikazu rešitev umetne inteligence, razvitih pri drugih nalogah. Razvijamo tudi tako imenovani Emergent Behaviors jezikovnih modelov za uporabo pri simulacijah geopolitičnih agentov. **AI4Gov** (*Trusted AI for Transparent Public Governance fostering Democratic Values*) je projekt programa Obzorje Evropa, ki se je začel januarja 2023 ter uvaja nove in nepristranske tehnologije umetne inteligence v kontekstu oblikovanja politik. Cilj projekta je predstaviti rešitve in okvire z dvojnim namenom: olajšati oblikovalcem politik razvoj avtomatiziranih, izobraženih in dokazno podprtih odločitev ter povečati zaupanje državljanov v demokratične procese in institucije. Projekt bo izkoristil zmogljivosti najnovejših orodij za zagotavljanje nepristranske, brezplačne, poštene in zaupanja vredne umetne inteligence. Ta orodja bodo preverjena glede na njihovo sposobnost zagotavljanja tehničnih in/ali organizacijskih ukrepov, vzročnih modelov za pristranskost in diskriminacijo ter standardiziranih metodologij za doseg poštenosti v umetni inteligenci.

Odsek za umetno inteligenco posveča posebno pozornost **promociji znanosti**. Sodelavci odseka so bili leta 2023 zelo aktivni pri promociji svojega raziskovalnega področja, in sicer:

- Marko Grobelnik je imel številna predavanja in več intervjujev na temo umetne inteligence in revolucije velikih jezikovnih modelov. Med drugim je govoril o temi *Duh je ušel iz steklenice za 24ur.com* ter o vprašanju, ali bo umetna inteligenca prekosila človeka, v prispevku *ChatGPT med priložnostjo in grožnjo* na RTVSLO Studiu ob 17. uri; *ChatGPT dobro simulira pametnega sogovornika, a besedil ne razume, zato se v njih izgubi*, aktualna tema; *Od orodja do avtorja: Krmarjenje po polju umetne inteligence po razcvetu*, Filozofska fakulteta & STA.
- Dunja Mladenec je imela predavanje na dogodku OECD: *AI foresight: anticipating what lies ahead*.
- Dunja Mladenec je predstavila uporabo umetne inteligence za reševanje pomanjkanja kadrov v zdravstvu na srečanju o krepitvi zdravstvenih sistemov v jugovzhodni Evropi.
- Dunja Mladenec je imela več vabljenih predavanj o priložnostih in izzivih umetne inteligence za strokovnjake in širšo javnost na različnih dogodkih v Sloveniji, med drugim na konferenci Outbreak o odgovorni prihodnosti medijev in dogodku *AI: get ready for the future!*, ki ga je organizirala revija Finance 1.
- Dunja Mladenec je sodelovala na številnih okroglih mizah o umetni inteligenci, vključno z *dogodkom IT tour – potovanje v svet umetne inteligence: priložnosti in pasti* na IT tour 2023, okroglo mizo vodilnih poslovnikov na letnem forumu IEDC 2023 in razpravo o temi *AI – odločevalec prihodnosti?* na dogodku Confindustria Udine.
- Jože Rožanec je predstavil svoje raziskovalne prispevke na štirih mednarodnih konferencah.
- Inna Novalija je sodelovala na spletnem seminarju *Applying AI to Cultural Heritage Text Analysis* v okviru projekta Odeuropa *Rešitev umetne inteligence v knjižnicah*.
- Erik Novak je imel predavanje o temeljih umetne inteligence na delavnici AI4Gov: Bias In AI.

Jože Rožanec je bil soavtor znanstvenega članka z naslovom *Fostering Research & Innovation in AI through Regulatory Sandboxes*, ki je bil izbran kot tretji najboljši članek na 16th International technology transfer conference.

- Erik Novak je sodeloval na dveh okroglih mizah, eni na temo umetne inteligence in knjižnic, drugi pa na temo umetne inteligence in financ.
- Erik Novak je imel več predavanj na različne teme o umetni inteligenci, vključno z dvema predavanjema na slovenskih srednjih šolah in na Ministrstvu za javno upravo.
- Erik Novak je bil član okrogle mize na dogodku *Open Education for a Better World Eduscope 2023*.
- Simon Krek je bil na konferenci v Talinu vabljeni govorec, in sicer s predavanjem z naslovom *Digital Dictionary Database for Slovenian: unstructured, semi-structured and structured data in modern lexicography*.

Simon Krek in Jaka Čibej sta bila med avtorji članka, ki je na konferenci DIGIN 2023 prejel priznanje za najboljši prispevek na konferenci. Naslov članka je Online Notes – A Real-Time Speech Recognition and Machine Translation System for Slovene University Lectures.

V sodelovanju z odsekom CT3 smo tudi v letu 2023 prek portala Videlectures.net pomembno prispevali k promociji umetne inteligence, promociji Instituta ter splošni promociji slovenske znanosti. Odsek je tudi soorganizator in eden glavnih pobudnikov vsakoletnega srednješolskega tekmovanja iz znanja računalništva ACM, v letu 2023 se ga je udeležilo 129 tekmovalcev iz 31 šol. Aktivni smo bili tudi na področju promocije žensk v znanosti, kjer smo gostili virtualno razstavo o doktoricah znanosti na področju računalništva in informatike ter elektroinženirstva v Sloveniji. Redno posodabljammo javno dostopne vire o ženskah v znanosti (<http://ScienceWithArt.ijs.si/>).

Tema evropskega projekta Obzorja 2020 *Athena* je **enakovrednost spolov** za krepitev raziskovalnih potencialov, odstranjevanje ovir pri zaposlovanju ter ohranitev in napredovanje raziskovalk. Pri projektu smo sodelovali predvsem pri spremljanju izvedbe Načrtov o enakovrednosti (ang. Gender Equality Plans (GEPs)) na ravni celotnega instituta. Več dosežkov v preteklem letu dokazuje zavezanost inštituta k spodbujanju enakosti spolov, predvsem sprememba meril za znanstveno napredovanje, ki so bila opredeljena kot ključna ovira pri poklicnem napredovanju in ohranjanju raziskovalk. Velik napredek je bil dosežen pri sprejemanju spolno občutljivega jezika, ki se najočitneje odraža v besedilu spremenjenega Statuta Instituta, sprejetega 8. decembra 2023. Upravni odbor Instituta je na seji 27. februarja 2023 potrdil prvo letno poročilo o oceni enakosti spolov.

Leta 2023 je **Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem UNESCO (IRCAI)**, ki deluje znotraj Odseka za umetno inteligenco, v okviru Obzorja Evropa (grozd 4) pridobil nov raziskovalno-inovacijski projekt, imenovan **RAIDO (Reliable AI and Data Optimisation)**, v katerem bo prevzel tudi vlogo koordinatorja projekta. Cilj projekta je razvoj okvira za zaupanja vredno in okolju prijazno umetno inteligenco in vzpostavitev celovite rešitve, ki bo naslovljala izzive interoperabilnosti in fragmentacije za zaupanja vredno in okolju prijazno umetno inteligenco (UI). Leta 2023 je prvič v živo organiziral srečanje partnerjev mreže NAIXUS za (*Network of AI Researchers on AI and the United Nations SDGs*) krepitev raziskovalnih centrov odličnosti umetne inteligence po vsem svetu. Srečanje je potekalo v Gani, na konferenci Deep Learning Indaba 2023. Namen srečanja je bil pogovor o napredku projekta, deliti vpoglede in načrtovati prihodnje akcije za okrepitev vpliva mreže na napredovanje ciljev Združenih narodov za trajnostni razvoj (SDGs) prek raziskav UI. Na istem dogodku je prav tako gostil delavnico, katere cilj je bil spodbuditi sodelovanje med raziskovalci in praktiki na področju UI za trajnostni razvoj. Leta 2023 je IRCAI mrežo razširil z novimi partnerji in uspešno objavil novo znanstveno revijo o UI in trajnostnem razvoju. Leta 2023 sta IRCAI in AWS zagnala mednarodni program *Compute For Climate Fellowship* za financiranje novih tehnoloških rešitev, ki naslavljajo podnebno krizo. To je prvi tovrstni globalni program, ki podpira podjetnike in zagonska podjetja pri uporabi naprednega računalništva v oblaku in umetne inteligence za ustvarjanje novih rešitev, ki naslavljajo podnebno krizo. Program je izbral in v celoti financiral raziskave in dejavnosti preverjanja konceptov za nove ideje, ki izkoriščajo napredno računalništvo v oblaku, vključno z generativno UI in kompleksnim modeliranjem ter simulacijo sistemov, da bi pomagali rešiti nekatere največje izzive v boju proti podnebnim spremembam. IRCAI je leta 2023 nadaljeval z objavo svojih stalnih letnih aktivnosti, in sicer mednarodni seznam inovacij in rešitev umetne inteligence za trajnostni razvoj v dobro človeštva ter nagrado za izjemne dosežke na področju UI in trajnostnega razvoja. Enako je razpisal IRCAI nagrado za leto 2023. Seznam vsebuje deležnike, ki si prizadevajo za doseganje vseh 17 ciljev trajnostnega razvoja, ki pokrivajo več sektorjev in vsako geografsko regijo Združenih narodov.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Bai, Chongyang, Chen, Haipeng, Kumar, Srijan, Leskovec, Jurij, Subrahmanian, V. S. M2P2: multimodal persuasion prediction using adaptive fusion, *IEEE transactions on multimedia*, 2023, 25, 942–952
2. Rei, Luis, Mladenčić, Dunja, Detecting fine-grained emotions in literature, *Applied sciences*, 2023, 13, 13, 7502
3. Rei, Luis, Mladenčić, Dunja, Dorozynski, Mareike, Rottensteiner, Franz, Schleider, Thomas, Troncy, Raphaël, Sebastián Lozano, Jorge, Gaitán Salvatella, Mar, Multimodal metadata assignment for cultural heritage artifacts, *Multimedia systems*, 2023, 29, 2, 847–869

4. Sebastián Lozano, Jorge, Alba Pagán, Ester, Martínez Roig, Eliseo, Gaitán Salvatella, Mar, León Muñoz, Arabella, Sevilla Peris, Javier, Vernus, Pierre, Puren, Marie, Rei, Luis, Mladenić, Dunja, Open access to data about silk heritage: a case study in digital information sustainability, *Sustainability*, 2023, 15, 19, 14340
5. Rožanec, Jože Martin, Novalija, Inna, Zajec, Patrik, Kenda, Klemen, Fortuna, Blaž, Mladenić, Dunja, et al., Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications, *International Journal of Production Research*, 2023, 61, 20, 6847–6872
6. Sittar, Abdul, Grobelnik, Marko, Mladenić, Dunja, Profiling the barriers to the spreading of news using news headlines, *Frontiers in artificial intelligence*, 2023, 6, 1225213
7. Swati, Swati, Mladenić, Dunja, Grobelnik, Marko, An inferential commonsense-driven framework for predicting political bias in news headlines, *IEEE access*, 2023, 11, 80886-80902
8. Swati, Swati, Mladenić Grobelnik, Adrian, Mladenić, Dunja, Grobelnik, Marko, A commonsense-infused language-agnostic learning framework for enhancing prediction of political bias in multilingual news headlines, *Knowledge-based systems*, 2023, 277, 110838
9. Bobrowski, Omer, Škraba, Primož, A universal null-distribution for topological data analysis, *Scientific reports*, 2023, 13, 12274

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Politični dialog: Stronger Together through the power of Artificial Intelligence, 7. 3. 2023
2. 8th Multi-stakeholder Forum on Science, Technology and Innovation for the Sustainable Development Goals. Spremljevalni dogodek: Artificial Intelligence and Data Science for society and the public good: technologies, applications, and governance, 2.–3. 5. 2023
3. EuroGPT Forum, 25. 5. 2023
4. Obisk obrambno diplomatskih predstavnikov Republike Slovenije v tujini, 8. 6. 2023
5. IRCAI and Amazon Web Services (AWS) Launch Compute For Climate Fellowship to Fund New Tech Solutions Addressing the Climate Crisis, 25. 7. 2023
6. Naixus delavnica Building a Global Network of AI Researchers, Accra, Gana, 3.–9. 9. 2023
7. Multi-factor Authentication (MFA), obisk delegacije v Južnoafriški republiki, 4.–8. 10. 2023
8. SiKDD, Odkrivanje znanja in podatkovna skladišča, Ljubljana, 9. 10. 2023 (hibridno)
9. Digital for Development (D4D) Hub AI, sestanek delovne skupine (virtualno), 27. 10. 2023
10. IRCAI gosti ASEFClassNet16, Leading Change: Digital Transformation of Education in the Era of AI, 13.–15. 11. 2023
11. Delavnica o določanju obsega umetne inteligence in dezinformacij, D4D Hub in The department for International Partnership, Bruselj, Belgija, 14.–15. 12. 2023

Nagrade in priznanja

1. Jose Martin Rožanec: Third-best paper at the 16th International technology transfer conference, 16th International Technology Transfer Conference, Fostering Research & Innovation in AI through Regulatory Sandboxes

MEDNARODNI PROJEKTI

1. D4D HUB AI; D4D vozlišče, umetna inteligenca
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)
2. LDS Workshop; Skupni evropski prostor jezikovnih podatkov
DFKI GmbH - Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz *GmbH*
doc. dr. Simon Krek
3. ERASMUS+: BRIDGES - Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko
Agenzia Nazionale Erasmus Plus Indire
Kim Sešek, dipl. org. (UN)
4. COST CA18209; Evropska mreža za spletno usmerjeno znanost o jezikovnih podatkih
COST Association AISBL
doc. dr. Simon Krek
5. COST CA18231; Multi3Generation: Večopravilna, večjezična in večmodalna tvorba besedil
COST Association AISBL
Marko Grobelnik
6. H2020 - Cleopatra; Akademija za večjezično, na dogodke osredotočeno odprto analitično raziskovanje
European Commission
Marko Grobelnik
7. H2020 - INFINITECH; Prikrojena testna okolja in peskovniki interneta stvari in masovnih podatkov za pametne, avtonomne in prilagojene storitve v evropskem ekosistemu finančnih in zavarovalniških storitev
European Commission
Marko Grobelnik
8. H2020 - FACTLOG; Energetsko ozaveščena tovarniška analitika za procesno industrijo
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
9. H2020 - HumanE-AI-Net; Mreža Humane AI
European Commission
Marko Grobelnik
10. H2020 - STAR; Varna zaupanja vredna in na človeka osredotočena umetna inteligenca v proizvodnih linijah prihodnosti
European Commission
Marko Grobelnik
11. H2020 - ODEUROPA; Uveljavitev olfaktornih in senzoričnih izkušenj v raziskavah kulturne dediščine
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
12. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
13. OE - CONDUCTOR; Sistemi upravljanja vozil in prometa za vodenje sodelovalne mobilnosti prihodnosti
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
14. OE - enRichMyData; Aktiviranje postopkov obogatitve podatkov za poslovne izdelke in storitve temelječe na umetni inteligenci
European Commission
Marko Grobelnik
15. OE - Plooto; Virtualni potni list izdelkov v digitalnem dvojčku krožnih vrednostnih verig
European Commission
mag. Mitja Jermol
16. OE - Ai4Gov; Zaupanja vredna umetna inteligenca za transparentno javno upravljanje, ki vzpodbuja demokratične vrednote
European Commission
mag. Mitja Jermol
17. OE - FAME; Zvezna, decentralizirana in zaupanja vredna podatkovna tržnica za področje financ
European Commission
Marko Grobelnik
18. OE - NANCY; Dolgoročni razvoj in pametno upravljanje 5G LTE mobilnih omrežij s pomočjo umetne inteligence
European Commission
Marko Grobelnik
19. OE - APRIORI; Aktivno učenje izboljšave delovanja kritičnih komponent za proizvode in procese
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
20. OE - TWON; Dvojček spletnih družbenih omrežij
European Commission
Marko Grobelnik
21. OE - PREPARE; Personalizirana rehabilitacija z novimi strategijami stratifikacije bolnikov z umetno inteligenco
European Commission

- Marko Grobelnik
22. OE - ELIAS; Evropski svetilnik umetne inteligence za trajnost
European Commission
prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor
 23. EIT Climate-KIC; UP SCALE - Pionirji Urbanizma - Sistemske spremembe v urbanem okolju
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
prof. dr. Dunja Mladenec
 24. OE - HumAlne; Podpora sodelovanju med človekom in umetno inteligenco pri hibridnem odločanju za izboljšano človekovo opolnomočenje v dinamičnih situacijah
European Commission
Marko Grobelnik
 25. AIRISE - Okvir mednarodnega političnega observatorija
ICEED - International Council on Environmental Economics and Development
prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor
 26. COST CA21167; UniDive - Univerzalnost, raznolikost in idiosinkratičnost v jezikovnih tehnologijah
COST Association AISBL
doc. dr. Simon Krek
 27. Skupaj močnejši
The British Council
Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)

PROGRAM

1. Tehnologije znanja
prof. dr. Dunja Mladenec

PROJEKTI

1. Povezovanje zelenih fenotipskih lastnosti na podlagi meritev obnašanja in anatomskih ter fizioloških lastnosti z genetskimi markerji pri lipicancih
dr. Aljaž Košmerlj
2. Opredelitev okvira za zagotavljanje zaupanja javnosti v sisteme umetne inteligence in njihove uporabe
Marko Grobelnik
3. Opredelitev modela kazalnikov za spremljanje potenciala uvajanja UI v Sloveniji s poglobljeno primerjalno analizo stanja v Sloveniji in v EU in multi-metodološko analizo stanja in trendov v Sloveniji
prof. dr. Dunja Mladenec
4. Proteverb - Pravni, etični in tehnološki vidiki obdelave besedilnih in govornih virov podatkov za znanstvene, raziskovalne in razvojne namene
doc. dr. Simon Krek
5. Observatorij slovenske umetne inteligence
prof. dr. Dunja Mladenec
6. Slo2Svet- Povezovanje kultur, informiranje in učenje s pomočjo odprtih izobraževalnih virov in umetne inteligence
prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor
7. CLARIN
Institut »Jožef Stefan«
doc. dr. Simon Krek
8. Opredelitev modela kazalnikov za spremljanje potenciala uvajanja UI v Sloveniji s poglobljeno primerjalno analizo stanja v Sloveniji in v EU in multi-metodološko analizo stanja in trendov v Sloveniji
Služba Vlade Republike Slovenije za digitalno preobrazbo
prof. dr. Dunja Mladenec
9. Proteverb - Pravni, etični in tehnološki vidiki obdelave besedilnih in govornih virov podatkov za znanstvene, raziskovalne in razvojne namene
Ministrstvo za digitalno preobrazbo
doc. dr. Simon Krek
10. Opredelitev okvira za zagotavljanje zaupanja javnosti v sisteme umetne inteligence in njihove uporabe
Marko Grobelnik
11. Združenje Elexis
doc. dr. Simon Krek
12. SLOKIT: Nadgradnja CLARIN.SI: Korpusni informator in besedilni analizator
Ministrstvo za kulturo
dr. Iztok Kosem
13. IRCAI- Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco - UNESCO
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
mag. Mitja Jermol
14. SEMTEH - Povezane baze znanja za semantične tehnologije
Ministrstvo za kulturo
doc. dr. Simon Krek
15. „Digitalizacija analitične podpore v nacionalnem centru za krizno upravljanje“ - DAP NCKU
Ministrstvo za obrambo
Marko Grobelnik

16. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za javno upravo
prof. dr. Dunja Mladenec
17. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za zunanje in evropske zadeve
prof. dr. Dunja Mladenec
18. Observatorij slovenske umetne inteligence
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
prof. dr. Dunja Mladenec
19. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za vzgojo in izobraževanje
prof. dr. Dunja Mladenec
20. Slo2Svet- Povezovanje kultur, informiranje in učenje s pomočjo odprtih izobraževalnih virov in umetne inteligence
Ministrstvo za zunanje in evropske zadeve
prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor
21. Organizacija tekmovanja za Evropsko statistične nagrade za spletno inteligenco - LOT 1
European Commission
Marko Grobelnik
22. Upravljanje evropskih statističnih nagrad za napovedovanje trenutkov - LOT 2
European Commission
Marko Grobelnik
23. Orodje za analizo slovenskega inovacijskega ekosistema
Google Ireland Limited
Marko Grobelnik

OBISKI

1. Franco Spicciariello, Amazon Web Services, 8.-10. 3. 2023
2. Sasha Rubel, Amazon Web Services, 8.-10. 3. 2023
3. Sargis Ghazaryan, Amazon Web Services, 8.-10. 3. 2023
4. Saša Leban, Kabinet predsednika Vlade, 8.-10. 3. 2023
5. Igor Zorko, Gospodarske zbornica Slovenije, 8.-10. 3. 2023
6. Tanja Krapenc, Ministrstvo za zunanje zadeve, 8.-10. 3. 2023
7. Ajša Vodnik, AmCham, 8.-10. 3. 2023
8. Katja Geršak, Regionalni Dialog, 8.-10. 3. 2023
9. Nena Dokuzov, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 8.-10. 3. 2023
10. Matevž Frangež, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 8.-10. 3. 2023
11. Kladija Korazija, Ministrstvo za digitalno preobrazbo, 8.-10. 3. 2023
12. Emilija Stojmenova Duh, Ministrstvo za digitalno preobrazbo, 8.-10. 3. 2023
13. Aida Kamišalić Latifić, Ministrstvo za digitalno preobrazbo, 8.-10. 3. 2023
14. Petra Culetto, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 8.-10. 3. 2023
15. Umida Tukhtasheva, Deputy Director of the Anti-Corruption Agency, 21. 3. 2023
16. Makhtumjon Akhmedov, Head of the Internal security division, 21. 3. 2023
17. Akmal Muratov, Lead Inspector of the international cooperation Department, 21. 3. 2023
18. Bakhramjan Burkhanitdinov, Lead Inspector of the Department for public relations, 21. 3. 2023
19. Sanatulla Yunusov, Lead Inspector of the Department for income and asset declaration of civil servants, 21. 3. 2023
20. Hudayberdi Tursunbekov, Senior prosecutor of the Scientific - educational Center for fighting against corruption of the Academy, 21. 3. 2023
21. Natalya Goncharova, Interpreter, 21. 3. 2023
22. Aziz Eshbekov, RD Program Specialist, 21. 3. 2023
23. Sabina Podkrižnik, Banka Slovenija, 23. 3. 2023
24. Kladija Jurkovšek Seitl, Banka Slovenija, 23. 3. 2023
25. Jelena Milošević, Banka Slovenija, 23. 3. 2023
26. Alkesandra Čargo, Banka Slovenija, 21. 3. 2023
27. Žiga Bucaj, Banka Slovenija, 21. 3. 2023
28. Franco Spicciariello, Amazon Web Services, 13.-14. 4. 2023
29. Sasha Rubel, Amazon Web Services, 13.-14. 4. 2023
30. Sargis Ghazaryan, Amazon Web Services, 13.-14. 4. 2023
31. Igor Zorko, Gospodarske zbornica Slovenije, 13.-14. 4. 2023
32. Nena Dokuzov, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 13.-14. 4. 2023
33. Matevž Frangež, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 13.-14. 4. 2023
34. Aida Kamišalić Latifić, Ministrstvo za digitalno preobrazbo, 13.-14. 4. 2023
35. Petra Culetto, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 13.-14. 4. 2023
36. Danica Purg, IEDC, 13.-14. 4. 2023
37. Uroš Svete, Urad Vlade za informacijsko varnost, 13.-14. 4. 2023
38. Irma Gubanec, Telekom Slovenije, 13.-14. 4. 2023
39. GINESY Charles Ange, Président du département des Alpes Maritimes and Mercantour National Park (Mercantour National Park), 15. 5. 2023
40. David KONOPNICKI, Vice President Smart Deal (Departement des Alpes Maritimes), 15. 5. 2023
41. Yannick Bernard, President of Green deal (Departement des Alpes Maritimes), 15. 5. 2023
42. Mr. Lombardo, President of Commission attractivité territoriale (Departement des Alpes Maritimes), 15. 5. 2023
43. Christophe PICARD, Departement des Alpes Maritimes, 15. 5. 2023
44. José AMMENDOLA, SICTIAM, 15. 5. 2023
45. Isabelle GALLY, Director, House of Artificial Intelligence, 15. 5. 2023
46. Mr. FABRIS, Public policy officer, Departement des Alpes Maritimes, 15. 5. 2023
47. Hanna KISRANE, Chief of staff, Departement des Alpes Maritimes, 15. 5. 2023
48. Tawfik Jelassi, namestnik generalne direktorice UNESCO, 27.-30. 8. 2023
3. dr. Miha Cimperman, Conductor: Fleet and traffic management systems for conducting future cooperative mobility, 18. 1. 2023
4. Aleš Žagar, Laboratorij za kognitivno modeliranje, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani, Izdelava in demonstracija avtomatskih povzemalnikov besedil v slovenskem jeziku, 25. 1. 2023
5. dr. Primož Škraba, Universality and P-values (in geometry/topology), 1. 2. 2023
6. Jože Rožanec, Graph-Massivizer, 15. 2. 2023
7. Jan Šturm, mag. posl. ved, Si-Twin - Digital Twin of Slovenia, 22. 2. 2023
8. Marko Grobelnik, Research updates from conferences, 1. 3. 2023
9. dr. Alenka Guček, Applying data visualization principles in different contexts, 8. 3. 2023
10. dr. Krisztian Antal Buza, Link Prediction with Local Models and Its Applications to Drug-Target Interaction Prediction and Massive Graphs, 15. 3. 2023
11. IRCAL - European Commission: Predstavitev dosežkov in načrtov na področju umetne inteligence s predstavniki IJS, 16.-17. 3. 2023
12. dr. Branko Kavšek, Privacy-Aware and Secure Decentralized Air Quality Monitoring, 22. 3. 2023
13. Erik Novak, mag. prof. mat., PREPARE: Personalized rehabilitation via novel AI patient stratification strategies, 29. 3. 2023
14. dr. Olexandra Topal, Supervised and unsupervised machine learning on the Lipizzan horse data, 5. 4. 2023
15. dr. Alenka Guček, Ai4Gov: Trusted AI for Transparent Public Governance fostering Democratic Values, 12. 4. 2023
16. dr. Carolina Fortuna, Nancy: An Artificial Intelligent Aided Unified Network for Secure Beyond 5G Long Term Evolution, 19. 4. 2023
17. Klemen Kenda, univ. dipl. fiz., Apriori: Active PProduct-to-Process Learning for Improving Critical Components Performance, 26. 4. 2023
18. dr. Polona Škraba Stanič, Eurostat competition in Nowcasting - The Energy Challenge, 3. 5. 2023
19. dr. Krisztian Antal Buza, TWON: TWin of Online social Networks, 10. 5. 2023
20. dr. Polona Škraba Stanič, The basis of health and safety in the workplace and fire protection, 17. 5. 2023
21. Abdul Sittar, Cleopatra: Crosslingual Event-centric Open Analytics Research Academy, 24. 5. 2023
22. Erik Calcina, Creating a multilingual news article data set for evaluating text stream clustering algorithms, 31. 5. 2023
23. Patrik Zajec, Simple Analysis of Point Clouds with TDA, 7. 6. 2023
24. dr. Blaž Fortuna, Klemen Kenda, univ. dipl. fiz., Plotoo: Product Passport through Twinning of Circular Value Chains, 14. 6. 2023
25. dr. Joao Pita Costa, Impact generation and innovation management in the context of Horizon Europe, 21. 6. 2023
26. Erik Novak, mag. prof. mat., PREPARE: Personalized rehabilitation via novel AI patient stratification strategies, 6. 9. 2023
27. Marko Grobelnik, KDD and IJCAI, 13. 9. 2023
28. dr. Inna Novalija, OdEuropa: Negotiating Olfactory and Sensory Experiences in Cultural Heritage Practice and Research, 20. 9. 2023
29. dr. Joao Pita Costa, Complementary machine learning and data analysis perspectives on water sustainability with a topological common ground, 27. 9. 2023
30. dr. Olexandra Topal, Predicting horse fearfulness applying supervised machine learning methods, 4. 10. 2023
31. dr. Iztok Kosem, SLOKIT, 11. 10. 2023
32. Jan Šturm, mag. posl. ved, Si-Twin - Digital Twin of Slovenia, 18. 10. 2023
33. dr. Blaž Fortuna, Report from AI Engineer Summit, 25. 10. 2023
34. Jože Rožanec, Factlog: Energy-aware Factory Analytics for Process Industries, 8. 11. 2023
35. dr. Carolina Fortuna, Nancy: An Artificial Intelligent Aided Unified Network for Secure Beyond 5G Long Term Evolution, 15. 11. 2023
36. dr. Krisztian Antal Buza, enRichMyData InnoGraph - Glimpse of the Future, 22. 11. 2023
37. Luis Rei, enRichMyData: Enabling Data Enrichment Pipelines for AI-driven Business Products and Services, 29. 11. 2023
38. Klemen Kenda, univ. dipl. fiz., HumAIne: Hybrid Human - AI Decision Support for Enhanced Human Empowerment in Dynamic Situations, 6. 12. 2023
39. dr. Alenka Guček, Rare diseases observatory, 13. 12. 2023
40. Patrik Zajec, Implementing a conversational agent, 20. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Matej Kovačič, EU-Japan.AI: Advancing Collaboration and Exchange of Knowledge Between the EU and Japan for AI-Driven Innovation in Manufacturing, 4. 1. 2023
2. Swati, Secondment - Cleopatra, 11. 1. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Marko Grobelnik, FRAN po covidu, Ljubljana, Slovenija, 5. 1. 2023
- Krisztian Antal Buza, Marko Grobelnik, Jose Luis Machado Rei, M.Besher Massri, projektni sestanek EnrichMyData, Milano, Italija, 17.-19. 1. 2023
- Blaž Fortuna, Kick-off meeting projekta Plooto, Bologna, Italija, 17.-19. 1. 2023
- Mitja Jermol, udeležba na kick off sestanku za nov projekt Horizon Europe z naslovom Plooto, Bologna, Italija, 17.-19. 1. 2023
- Tel Amiel, hibridno predavanje na magistrskem programu Načrtovanje in vodenje odprtega izobraževanja, Vipava, Slovenija, 18.-20. 1. 2023
- Dunja Mladenec, Sodelovanje na ICREA, Barcelona, Španija, 22.-24. 1. 2023
- Marko Grobelnik, M.Besher Massri, Udeležba na OdEuropa UNESCO Panelu, Pariz, Francija, 22.-25. 1. 2023
- Miha Cimperman, Jose Martin Rožanec, Planery meeting projekta Factlog, Les Diablerets, Švica, 24.-27. 1. 2023
- Krisztian Antal Buza, Marko Grobelnik, Jose Martin Rožanec, projektni sestanek Graph-Massivizer, Celovec, Avstrija, 30. 1.-2. 2. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na NATO AI kick off, predavanje na Amazon Brussels, sestanek na Rockefeller foundation, Isreal AI week, kick off AI4Gov, Atene, Grčija, 6.-22. 2. 2023
- Katherine Evans, Udeležba na dogodku WAICF (World AI Cannes Festival), Cannes, Francija, 9.-12. 2. 2023
- Jose Luis Machado Rei, Inna Novalija, projektni sestanek Odeuropa, Erlangen, Nemčija, 14.-17. 2. 2023
- Alenka Guček, projektni sestanek AI4GOV, Atene, Grčija, 19.-22. 2. 2023
- Marko Grobelnik, Maja Škrjanc, Jan Šturm, Obisk Kadetnice, Maribor, Slovenija, 28. 2. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba pri projektu Načrti, izzivi in uspehi na področju internacionalizacije, Planica, Slovenija, 2. 3. 2023
- Dunja Mladenec, predstavitev ob zaključku projekta RSDO, Ljubljana, Slovenija, 6. 3. 2023
- Marko Grobelnik, M.Besher Massri, udeležba na NTTS2023 konferenci, panelist na NATO International Women's Day, Brussels, Belgija, 6.-8. 3. 2023
- Marko Grobelnik, Dunja Mladenec, sestanek z ministrico in AWS policy ekipo, Ljubljana, Slovenija, 9. 3. 2023
- Marko Grobelnik, sestanek na MGRT in ambasadi ZDA z ekipo iz Amazona, Ljubljana, Slovenija, 10. 3. 2023
- John Stewart Shawe Taylor, soorganizator dogodka in udeleženec na konferenci WSIS Forum 2022-Worlds Summit on the Information Society Forum, Ženeva, Švica, 13.-16. 3. 2023
- Mihajela Črnko, soorganizatorka dogodka in udeleženka na konferenci WSIS Forum 2022-Worlds Summit on the Information Society Forum, Ženeva, Švica, 13.-17. 3. 2023
- Maja Škrjanc, udeležba na sestankih INFINTeCH in FAME, Rim, Italija, 13.-17. 3. 2023
- Marko Grobelnik, predavanje na Tednu možganov, Ljubljana, Slovenija, 15. 3. 2023
- M. Besher Massri, udeležba na seminarju AI MEETS COMPLEX KNOWLEDGE STRUCTURES: NEURO-SYMBOLIC AI AND GRAPH TECHNOLOGIES, Oslo, Norveška, 15.-17. 3. 2023
- Simon Krek, Udeležba na delavnicah akcije COST UniDive, Pariz, Francija, 15.-19. 3. 2023
- Dunja Mladenec, vabljen predavanje na panelu The adoption of AI: how far are we?, Udine, Italija, 17. 3. 2023
- Primož Škraba, udeležba na workshopu Randomness in Topology and its Applications, Chicago, ZDA, 19.-24. 3. 2023
- Marko Grobelnik, pogovori na Wabtec Corp in Sanofi Pharmaceuticals, Pariz, Francija, 20.-22. 3. 2023
- Krisztian Antal Buza, udeležba na Japanese-Hungarian Symposium on Discrete Mathematics 2023, Budimpešta, Madžarska, 20.-25. 3. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na EU AI Week, Bruselj, Belgija, 27.-30. 3. 2023
- Mihajela Črnko, udeležba na Kick off meetingu delovne skupine za UI, Bruselj, Belgija, 28.-30. 3. 2023
- Erik Novak, zaključno srečanje projekta Infintech, Ljubljana, Slovenija, 31. 3. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na Mastercard 255 to the Moon Conference, Planica, Slovenija, 31. 3. 2023
- Marko Grobelnik, IEDC ChatGPT lunch & presentation, Bled, Slovenija, 3. 4. 2023
- Jose Martin Rožanec, projektni sestanek STAR, Drachten, Nizozemska, 3.-6. 4. 2023
- Luka Bradeško, udeležba na 10. mednarodnem logističnem kongresu, Portorož, Slovenija, 5.-7. 4. 2023
- Simon Krek, vabljen predavanje na FFRI, Rijeka, Hrvatska, 6. 4. 2023
- Marko Grobelnik, AI Lecture for Lawyers at Nova Univerza, Ljubljana, Slovenija, 11. 4. 2023
- Marko Grobelnik, obisk Amazon AWS delegacije na MVZI, Ljubljana, Slovenija, 13. 4. 2023
- Jose Martin Rožanec, projektni sestanek Graph Massivizer + workshop, Coimbra, Portugalska, 13.-17. 4. 2023
- Marko Grobelnik, sestanki s predstavniki AWS, Ljubljana, Slovenija, 14. 4. 2023
- Krisztian Antal Buza, Daniel Schwabe, Kick off sestanek HE TWON, Amsterdam, Nizozemska, 16.-19. 4. 2023
- Marko Grobelnik, Kick sestanek HE TWON, sestanki OECD, panelist na Operationalizing AI policies for Innovation: Moving from Principles to Practice, Amsterdam, Pariz, Madrid, Španija, 16.-26. 4. 2023
- Dunja Mladenec, sodelovanje na okrogli mizi Uspešne ženske na Evropski dekliški matematični olimpijadi, Portorož, Slovenija, 17. 4. 2023
- Dunja Mladenec, udeležba na sestanku OECD.AI Network of Experts, Pariz, Francija, 18.-20. 4. 2023
- Blaž Fortuna, Klemen Kenda, Polona Škraba Stanič, Jose Martin Rožanec, Kick off sestanek projekta APRIORI, Heverlee, Belgija, 18.-21. 4. 2023
- M.Besher Massri, OECD sestanek - 3rd AIGO meeting, Pariz, Francija, 18.-23. 4. 2023
- Simon Krek, udeležba na sestanku odbora ELRA, Pariz, Francija, 20.-22. 4. 2023
- Mihajela Črnko, predstavitev dela na Knowledge Forumu, Montevideo, Urugvaj, 22. 4.-2. 5. 2023
- Tel Amiel, predavanje na dogodku Future Festival 2023, Koln, Nemčija, 24. 4.-1. 5. 2023
- Alenka Guček, udeležba na konferenci Outliner 2023, Porto, Portugalska, 30. 4.-11. 5. 2023
- Davor Orlič, pripravljani sestanki za mrežo Naixus, Cape Town, Južna Afrika, 1.-14. 5. 2023
- Blaž Fortuna, udeležba na sestanku projekta Plooto, Barcelona, Španija, 3.-5. 5. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na knowledgegraph konferenci, Google obisk pri Chrisu Wely, srečanja z AWS (Sasha Rubel in Franco Spitzarello), New York, ZDA, 5.-13. 5. 2023
- Primož Škraba, udeležba na Dagstuhl Seminar Topological Data Analysis and Applications, Dagstuhl, Nemčija, 7.-12. 5. 2023
- Jose Martin Rožanec, obisk konference SAIDD 2023, Sogndal, Norveška, 8.-11. 5. 2023
- Wayne Holmes, predavanje na biennial Responsibility to protect in theory and practice, Ljubljana, Slovenija, 10.-12. 5. 2023
- Erik Novak, okrogla miza Vpliv umetne inteligence na prihodnost knjižnic, Ljubljana, Slovenija, 11. 5. 2023
- Marko Grobelnik, Abdul Sittar, Polona Škraba Stanič, zaključni dogodek za projekt Cleopatra, Hannover, Nemčija, 14.-16. 5. 2023
- Dunja Mladenec, vabljen predavanje na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo, Zagreb, Zagreb, Hrvatska, 16. 5. 2023
- Mitja Jermol, udeležba na konferenci EUSDR, Brdo pri Kranju, Slovenija, 17. 5. 2023
- Jaka Čibek, udeležba na konferenci Slavistični znanstveni premisleki, Maribor, Slovenija, 17.-19. 5. 2023
- Marko Grobelnik, vabilo na konferenco Iz kriznega menedžmenta v novi optimizem, Bled, Slovenija, 19. 5. 2023
- Krisztian Antal Buza, Marko Grobelnik, Jose Luis Machado Rei, M.Besher Massri, Mateja Škraba, udeležba na 3rd plenary meeting enRichMyData, Dubrovnik, Hrvatska, 20.-24. 5. 2023
- Inna Novalija, projektni sestanek Odeuropa, London, Velika Britanija, 21.-24. 5. 2023
- Dunja Mladenec, predavanje na konferenci AI&Sustainability, Ljubljana, Slovenija, 23. 5. 2023
- Mihajela Črnko, udeležba na konferenci The Sustainability Science Days, Helsinki, Finska, 24.-26. 5. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na HumaneAI delivering a one day event @ European Parliament, Bruselj, Belgija, 24.-26. 5. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na ESWC konferenci, Hersonissou, Grčija, 27. 5.-2. 6. 2023
- Erik Novak, sodelovanje na poslovno finančni konferenci, Ljubljana, Slovenija, 29. 5. 2023
- Iztok Kosem, predavanje na konferenci NOOJ, Zadar, Hrvatska, 30. 5.-1. 6. 2023
- Alenka Guček, Erik Novak, udeležba na konferenci Kleefstra Syndrome, Ljubljana, Slovenija, 1. 6. 2023
- Marko Grobelnik, sestanek na Ministrstvu za kulturo, Ljubljana, Slovenija, 2. 6. 2023
- Erik Novak, sodelovanje na okrogli mizi AI in Education and the role of ChatGPT, Nova Gorica, Slovenija, 2. 6. 2023
- Mitja Jermol, predavanje na dogodku EDUSCOPE, Vipava, Slovenija, 2.-5. 6. 2023
- Ervin Pfeifer, predstavitev projekta Youth's journey to environmental awareness with the Green Button journey project na konferenci Eduscope, Vipava, Slovenija, 5. 6. 2023
- Marko Grobelnik, dogodek AI & Public Administration @Jable, Slovenija, 7. 6. 2023
- Tel Amiel, Mitja Jermol, udeležba na UNESCO simpozijumu Ethics by Design in AI: theoretical and practical perspectives, Pariz, Francija, 7.-10. 6. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na Dragon Kinnernect, Ljubljana, Slovenija, 7.-11. 6. 2023
- Marko Grobelnik, predavanje na Banki Slovenije, Ljubljana, Slovenija, 8. 6. 2023
- Alenka Guček, udeležba na predavanju Avtomobili: med stereotipi in statistiko, Ljubljana, Slovenija, 8. 6. 2023
- Alenka Guček, predavanje na Univerzi v Novi Gorici, Nova Gorica, Slovenija, 15. 6. 2023
- Primož Škraba, udeležba na Workshop on: Applied homological algebra beyond persistence diagrams, San Jose, ZDA, 18.-28. 6. 2023
- Tanja Zdošek Draksler, udeležba na EURORDIS Open Academy School on Medicines Research & Development, Barcelona, Španija, 18.-23. 6. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na 5. Nacionalna konferenca o internacionalizaciji slovenskega gospodarstva, Maribor, Slovenija, 20. 6. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na MQ konferenci 2023, Brdo pri Kranju, Slovenija, 21. 6. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na DARB dogodkih, Bruselj, Belgija, 21.-23. 6. 2023
- Marko Grobelnik, Keynote na 36th BLED CONFERENCE, Bled, Slovenija, 26. 6. 2023
- Marko Grobelnik, udeležba na META-FORUM 2023 Conference: Digital Language Equality for a Multilingual Europe, Bruselj, Belgija, 26.-28. 6. 2023
- Simon Krek, udeležba na META forumu 2023 Bruselj, konferenca eLex, Brno, Bruselj, Brno, Belgija, 26.-30. 6. 2023
- Marko Grobelnik, 4th meeting of the Working Party on Artificial Intelligence Governance, udeležba na ChatGPT Event: effect, Pariz, Bruselj, Belgija, 2.-5. 7. 2023
- Erik Novak, Kick-off sestanek projekta PREPARE, symposium OHDSI, Rotterdam, Nizozemska, 2.-6. 7. 2023
- Alenka Guček, Kick-off sestanek za projekt PREPARE, Rotterdam, Nizozemska, 3.-7. 7. 2023

94. Marko Grobelnik, dogodek ADRA, Bruselj, Belgija, 5.–6. 7. 2023
95. Maja Škrjanc, projektni sestanek FAME, Caparica, Portugalska, 5.–7. 7. 2023
96. Marko Grobelnik, sestanek na GZS, Ljubljana, Slovenija, 12. 7. 2023
97. Marko Grobelnik, sestanek na British Embassy, Ljubljana, Slovenija, 12. 7. 2023
98. Miha Cimperman, Klemen Kenda, projektni sestanek Factlog, Biella, Italija, 19.–21. 7. 2023
99. Jose Martin Rožanec, udeležba na poletni šoli DSIS, Predeal, Romunija, 20.–30. 7. 2023
100. Ervin Pfeifer, sestanki glede sodelovanja deležnikov Mavricija z IRCAL, Port Luis, Mavricij, Mauritius, 21.–26. 7. 2023
101. Jan Šturm, Oлександра Topal, udeležba na poletni šoli ESSAI 2023, Ljubljana, Slovenija, 24.–27. 7. 2023
102. Marko Grobelnik, Meetings with US State Department on the topic of using Slovenian Event Registry, Washington, ZDA, 26.–30. 7. 2023
103. Jan Šturm, udeležba na poletni šoli ESSLLI 2023, Ljubljana, Slovenija, 21. 7.–11. 8. 2023
104. Marko Grobelnik, udeležba na KDD 2023 konferenci, Stanford univerza, Long Beach, ZDA, 3.–14. 8. 2023
105. Krisztian Antal Buza, udeležba na KDD 2023 konferenci, Long Beach, ZDA, 5.–11. 8. 2023
106. Marko Grobelnik, udeležba na IJCAI konferenci, Macao, Kitajska, 17.–26. 8. 2023
107. Marko Grobelnik, udeležba na BSF 2023, Bled, Slovenija, 27.–29. 8. 2023
108. Alenka Guček, udeležba na delavnici Visualizing Complexity Science, Dunaj, Avstrija, 27.–31. 8. 2023
109. Adrian Mladenec Grobelnik, udeležba na poletni šoli na Carnegie Mellon Univerzi, Pittsburgh, ZDA, 30. 8.–29. 9. 2023
110. Dunja Mladenec, projekt trajnostni razvoj – 1. srečanje, 31. avgust, FDV, Ljubljana, Slovenija, 31. 8. 2023
111. Marko Grobelnik, udeležba na Draga mladih, Trst, Italija, 2. 9. 2023
112. Marko Grobelnik, sprejem na nizozemski ambasadi, Ljubljana, Slovenija, 5. 9. 2023
113. Marko Grobelnik, Polona Škraba Stanič, udeležba na SDH dogodku Vpliv umetne inteligence (UI) na poslovanje podjetij v prihodnosti, Brdo pri Kranju, Slovenija, 5. 9. 2023
114. Davor Orlič, udeležba na konferenci Deep Learning Indaba in sestanku za Naixus, Accra, Gana, 5.–13. 9. 2023
115. John Stewart Shawe-Taylor, udeležba na konferenci Deep Learning Indaba in udeležba na Naixus sestanku, Accra, Gana, 6.–12. 9. 2023
116. Krisztian Antal Buza, EnrichMyData 4th Plenary Meeting, Sophia, Bolgarija, 11.–14. 9. 2023
117. Marko Grobelnik, GenAI & KG Lecture at Sapienza, AWS Panel alongside UNGA, GPAI meeting, Canadiana AI conference, Rim, New York, Montreal, Kanada, 16. 9.–1. 10. 2023
118. Jose Martin Rožanec, udeležba na CECIS 2023 konferenci, Dubrovnik, Hrvaška, 19.–23. 9. 2023
119. Jose Luis Machado Rei, Inna Novalija, projektni sestanek Odeuropa, Biot, Francija, 24.–28. 9. 2023
120. Jose Martin Rožanec, projektni sestanek projekta GraphMassivizer, Walldorf, Nemčija, 25.–29. 9. 2023
121. Klemen Kenda, GA sestanek STAR, Bruselj, Belgija, 26.–29. 9. 2023
122. Krisztian Antal Buza, udeležba na ICCCI 2023 konferenci, Budimpešta, Madžarska, 26.–30. 9. 2023
123. Luka Bradeško, Luka Stopar, sestanek projekta UPSCALE, Velenje, Slovenija, 27. 9. 2023
124. Miha Cimperman, Luka Stopar, projektni sestanek CONDUCTOR, Bilbao, Španija, 27.–30. 9. 2023
125. Mitja Jermol, predavanje na dogodku AI and education for Democracy, Nica, Francija, 27.–30. 9. 2023
126. Simon Krek, udeležba na konferenci Clarc 2023, Rijeka, Hrvaška, 28.–30. 9. 2023
127. Dunja Mladenec, sestanek za projekt Trajnostni razvoj in strateško načrtovanje, Slovenija, 29. 9. 2023
128. Klemen Kenda, Plooto consortium meeting, Chania, Grčija, 2.–4. 10. 2023
129. Marko Grobelnik, sestanek za GZS Skills, Ljubljana, Slovenija, 3. 10. 2023
130. Krisztian Antal Buza, Abdul Sitar, projektni sestanek TWON, Karlsruhe, Nemčija, 4.–6. 10. 2023
131. Mitja Jermol, udeležba na obisku v RJA z gospodarsko delagcijo RS, Johannesburg, Južna Afrika, 4.–7. 10. 2023
132. Marko Grobelnik, Twon projektni sestanek, OECD sestanki, Karlsruhe, Pariz, Francija, 4.–8. 10. 2023
133. Davor Orlič, udeležba na obisku v RJA z gospodarsko delegacijo RS, Johannesburg, Pretorija, Južna Afrika, 4.–8. 10. 2023
134. Iztok Kosem, sestanek akcije COST, Bruselj, Belgija, 5.–7. 10. 2023
135. Marko Grobelnik, Radio Slovenija – AI Intervju, Ljubljana, Slovenija, 9. 10. 2023
136. Marko Grobelnik, predavanje na Gimnaziji Škofja Loka, Škofja Loka, Slovenija, 12. 10. 2023
137. Joao Pita da Costa, udeležba na GITEXImpact, predavanje, Dubai, Abu Dhabi, Združeni arabski emirati, 15.–22. 10. 2023
138. Marko Grobelnik, New AI Center Presentation, Ljubljana, Slovenija, 16. 10. 2023
139. Iztok Kosem, udeležba na konferenci CLARIN Annual Conference, Leuven, Belgija, 16.–18. 10. 2023
140. Marko Grobelnik, Workshop on AI – Finance, Ljubljana, Slovenija, 18. 10. 2023
141. Marko Grobelnik, predavanje na UL MF, Ljubljana, Slovenija, 18. 10. 2023
142. Dunja Mladenec, sodelovanje na dogodku Umetna inteligenca: pripravimo se na prihodnost, Ljubljana, Slovenija, 18. 10. 2023
143. Erik Novak, sodelovanje na infoverzumu: informacijska pismenost in umetna inteligenca, Koper, Slovenija, 18. 10. 2023
144. Marko Grobelnik, AI panel in Noordnug, Vitanje, Slovenija, 19. 10. 2023
145. Marko Grobelnik, IEDC Presidential Forum, Bled, Slovenija, 20. 10. 2023
146. Marko Grobelnik, NIL – AI presentation, Kranjska Gora, Slovenija, 20. 10. 2023
147. Dunja Mladenec, sodelovanje na IEDC 2023 forumu, Bled, Slovenija, 20. 10. 2023
148. Dunja Mladenec, Inna Novalija, udeležba na CaTCH konferenci, Maribor, Slovenija, 23. 10. 2023
149. Marko Grobelnik, udeležba na EBDVF2023 konferenci, Valencia, Španija, 24.–26. 10. 2023
150. Alenka Guček, predavanje na dogodku Shining a Light on Personal Data, Zürich, Švica, 25.–27. 10. 2023
151. Tanja Zdošek Draksler, predstavitev Observatorija za redke bolezni na dogodku EJP RD Training on Leadership and communication skills, Gdansk, Poljska, 25.–28. 10. 2023
152. Klemen Kenda, tehnični sestanek projekta Plooto, Atene, Grčija, 29.–31. 10. 2023
153. Marko Grobelnik, 1. konferenca Umetna inteligenca in pravo, Portorož, Slovenija, 6. 11. 2023
154. Mihajela Črnko, udeležba na uvodnem Kick off sestanku projekta HE HumAIne, Milano, Italija, 6.–7. 11. 2023
155. Alenka Guček, projektni sestanek AI4GOV, Limassol, Ciper, 6.–9. 11. 2023
156. Dunja Mladenec, Erik Novak, Strateški dnevi IJS, Portorož, Slovenija, 7.–8. 11. 2023
157. Marko Grobelnik, STOA workshop Generative AI: opportunities, risks and challenges, OECD sestanki in Paris Peace Forum, Bruselj, Pariz, Francija, 7.–12. 11. 2023
158. Wayne Holmes, udeležba in predavanje na 16. konferenci mreže ASEF Classroom Network, Ljubljana, Slovenija, 12.–15. 11. 2023
159. Marko Grobelnik, udeležba na goDigital, Brdo, Slovenija, 14. 11. 2023
160. Marko Grobelnik, Delegation visit (Paris, Ljubljana), Pariz, Francija, 14.–18. 11. 2023
161. Dunja Mladenec, sodelovanje na dogodku IT tour, Nova Gorica, Slovenija, 15. 11. 2023
162. Jan Šturm, udeležba na PKP konferenci, Portorož, Slovenija, 15. 11. 2023
163. Alenka Guček, udeležba na posvetu o zdravstveni pismenosti, Ljubljana, Slovenija, 16. 11. 2023
164. Marko Grobelnik, Delegation visit (Paris, Ljubljana), Ljubljana, Slovenija, 20. 11. 2023
165. Alenka Guček, udeležba na Information+ conference 2023, Edinburgh, Velika Britanija, 21.–25. 11. 2023
166. Jose Martin Rožanec, udeležba na ISM konferenci, Lizbona, Portugalska, 21.–25. 11. 2023
167. Marko Grobelnik, Roundtable – Artificial Intelligence and Artistic Creation, Ljubljana, Slovenija, 22. 11. 2023
168. Marko Grobelnik, ARIS CRP observatorij predstavitev, predavanje na Medicinski fakulteti, Ljubljana, Slovenija, 22. 11. 2023
169. Marko Grobelnik, AI & Ethics @Teološka Fakulteta, Ljubljana, Slovenija, 23. 11. 2023
170. Marko Grobelnik, Responsible Innovation in Defence and Security Conference, projektni sestanek OdEuropa, udeležba na The Athens Roundtable, Bruselj, Amsterdam, Washington, ZDA, 26. 11.–3. 12. 2023
171. Dunja Mladenec, Inna Novalija, Odeuropa projektni sestanek + workshop, Amsterdam, Nizozemska, 27.–30. 11. 2023
172. Jan Šturm, GA projektni sestanek FAME, Oslo, Norveška, 28. 11.–1. 12. 2023
173. Marko Grobelnik, udeležba na The Athens Roundtable, udeležba na COP28, Washington, NY, Dubai, Združeni arabski emirati, 29. 11.–8. 12. 2023
174. Dunja Mladenec, predavanje na srečanju ZMJVE, Brdo pri Kranju, Slovenija, 4. 12. 2023
175. Marko Grobelnik, sestanek na STA, Ljubljana, Slovenija, 14. 12. 2023
176. Marko Grobelnik, obisk na Teološki fakulteti, Ljubljana, Slovenija, 14. 12. 2023
177. Mihajela Črnko, moderiranje delavnice Scoping workshop on Disinformation and AI, Bruselj, Belgija, 14.–15. 12. 2023
178. Marko Grobelnik, STA AI Okrogla miza, Ljubljana, Slovenija, 20. 12. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Jose Martin Rožanec, 25. 10.–21. 12. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Špela Arhar Holdt*
2. dr. Kaja Dobrovoljc*
3. prof. dr. Branko Kavšek*
4. dr. Iztok Kosem*
5. doc. dr. Simon Krek
6. prof. dr. Jurij Leskovec
7. **prof. dr. Dunja Mladenec, znanstveni svetnik - vodja odseka**
8. prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor, znanstveni svetnik

9. doc. dr. Primož Škraba

Podoktorski sodelavci

10. Krisztian Antal Buza, PhD., Nemčija
11. dr. Jaka Čibej*
12. dr. Blaž Fortuna
13. *dr. Blaž Fortuna*, odšel 19. 8. 2023*
14. dr. Alenka Guček
15. dr. Luka Stopar
16. Oлександра Topal, PhD, Ukrajina

Mlajši raziskovalci

17. *Swati, Msc., Indija, odšla 30. 1. 2023*
18. mag. Rayid Ghani

19. Jakob Jelenčič, mag. fin. mat., odšel 1. 10. 2023

20. mag. Mitja Jermol
21. Klemen Kenda, univ. dipl. fiz.
22. Mark D Minevich, MSc., ZDA
23. Erik Novak, mag. prof. mat.
24. dr. Jose Martin Rožanec
25. dr. Abdul Sittar

26. Jan Šturm, mag. posl. ved

Strokovni sodelavci

27. dr. Luka Bradeško
28. dr. Janez Brank
29. Erik Calcina, dipl. inž. rač. in inf.
30. dr. Miha Cimperman
31. Wayne Holmes, PhD., Združeno kraljestvo
32. dr. Matej Kovačič
33. dr. Gregor Leban*
34. Jose Luis Machado Rei, Msc., Portugalska
35. M Beshar Massri, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
36. dr. Inna Novalija
37. dr. Ervin Pfeifer*
38. Matej Polzelnik, univ. dipl. inž. el.
39. dr. Jan Rupnik*
40. dr. Polona Škraba Stanič
41. Maja Škrjanc, univ. dipl. inž. rač. in inf.
42. dr. Tanja Zdolšek Draksler

Tehniški in administrativni sodelavci

43. Aleš Buh
44. Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)
45. Jasna Franko, dipl. trž. kom. (VS)
46. Marko Grobelnik
47. Mojca Kregar, dipl. ekon.
48. Monika Kroje, univ. dipl. kult.
49. Blaž Novak, univ. dipl. inž. rač. in inf.
50. Kim Šušek, dipl. org. (UN), odšla 1. 3. 2023
51. Špela Sitar, univ. dipl. inž. živ. tehnol.
52. Mateja Škraba, dipl. posl. inf. (VS)
53. Martina Vilhar, univ. dipl. ital. in hisp.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aalborg University, Aalborg, Danska
2. Aboitiz Data Innovation, Singapur, Singapur
3. Accelience Ltd, Ciper
4. AdriaMobil, Novo mesto, Slovenija
5. AEGIS IT RESEARCH GmbH, Nemčija
6. African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), Cape Town, Južna Afrika
7. Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
8. AI Laboratory at the University of the Witwatersrand (RAIL), Johannesburg, Južna Afrika
9. Aikwit, d. o. o.
10. Allan Turing Institute, London, Velika Britanija
11. Alpineon razvoj in raziskave, d. o. o.
12. Amazon Web Services (AWS), Francija
13. Amazon, Seattle, Washington, ZDA
14. Amebis, d. o. o.
15. Andorra Research + Innovation, Sant Julià de Lòria, Andorra
16. Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Grčija
17. Arthur's Legal, Nizozemska
18. Artificial Intelligence Policies Association (AIPA), Ankara, Turčija
19. Asia-Europe Foundation (ASEF) 2024, Singapur
20. ASPIS, Grčija
21. ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS AND BUSINESS – RESEARCH CENTER, Atene, Grčija
22. Athens University of Economics and Business, Grčija
23. Atos Spain Sa Madrid, Španija
24. AUEB, Atene, Grčija
25. Austrian Institute of Technology GmbH, Dunaj, Avstrija
26. BANKA SLOVENIJE, Ljubljana, Slovenija
27. BANKING & PAYMENTS FEDERATION IRELAND COMPANY LIMITED BY GUARANTEE, Dublin, Irska
28. BI2S, Ciper
29. BIG BANG, TRGOVINA IN STORITVE, d. o. o., Ljubljana
30. Bio-Robotics Laboratory, National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mehika
31. Bitdefender, Romunija
32. Bloomberg, New York, ZDA

33. BRC LIMITED, Velika Britanija
34. British Council, Ljubljana, Slovenija
35. CARTIF Technology Center, Valladolid, Španija
36. CELSA GROUP, Španija
37. CENEJE DRUŽBA ZA TRGOVINO IN POSLOVNO SVETOVANJE, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
38. Centre for Research and Technology–Hellas (CERTH), Grčija
39. Cerved Group Spa, Milan, Italija
40. Cetma Composites Srl, Italija
41. CETMA, Italija
42. Chung–Hua Institution for Economic Research, New Taipei, Tajvan
43. Consortium for the Research in Automation and Telecommunication (CRAT), Italija
44. CONTINENTAL AUTOMOTIVE ROMANIA SRL, Romunija
45. CONTROL 2K LIMITED, Bridgend, Velika Britanija
46. COPENHAGEN FINTECH, Copenhagen, Danska
47. Council of Europe, Ad Hoc Committee on Artificial Intelligence (CAHAI), Strasbourg, Francija
48. CVS MOBILE, INFORMACIJSKE REŠITVE, D. D., Ljubljana
49. Czech Technical University, Poljska
50. Data for Development Network (D4D.net)
51. Data–Pop Alliance, Mexico City, Mehika
52. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Bonn, Nemčija
53. DEUTSCHE WELLE, Bonn, Nemčija
54. DFKI German Research Center for Artificial Intelligence, Kaiserslautern, Nemčija
55. DialoguePerspectives e.v., Nemčija
56. Dimos Varis, Grčija
57. Diputacion de Badajoz, Španija
58. DOMEL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
59. DOMINA SRL, MODENA, Italija
60. DRAXIS Environmental S.A., Grčija
61. EBIT, Italija
62. eco – Verband der Internetwirtschaft e.V., Nemčija
63. ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE, Lausanne, Švica
64. Ekonomická Univerzita v Bratislavie, Slovaška
65. EIGHT BELLS Ltd, Ciper
66. EIT Climate–KIC, Copenhagen, Danska
67. ELLIS Unit Alicante Foundation, Alicante, Španija
68. Empresa Brasileira De Conservação De Florestas S.A., Brazilija
69. eng, Italija
70. Entersoft, Romunija
71. Eötvös Loránd University, Budimpešta, Madžarska
72. Ericsson TelecomunicazioniSpA (TEI), Švedska
73. ERNST & YOUNG GMBH WIRTSCHAFTSPRÜFUNGSGESELLSCHAFT, Stuttgart, Nemčija
74. ETH Zürich, Švica
75. Eurecat, Španija
76. EURECOM, Biot, Francija
77. Eurostat, Luxembourg, Luksemburg
78. Expert Group on AI and Data in Education and Training (E03774), set up by the European Commission, Bruselj, Belgija
79. Faculdade De Ciências Sociais E Humanas Da Universidade Nova De Lisboa, Lizbona, Portugalska
80. Finnish Center for Artificial Intelligence (FCAI), Aalto, Finska
81. Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija
82. Forschungsinstitut fuer Rationalisierung – FIR, Aachen, Nemčija
83. Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Nemčija
84. Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe, Nemčija
85. FORTISS GMBH, Nemčija
86. Forum Virium, Helsinki, Finska
87. Foundation for Research and Technology–Hellas, Heraklion, Grčija
88. Fraunhofer Gesellschaft Zur Foerderung der Angewandten Forschung E.V., Nemčija
89. Fraunhofer–Institut – Intelligent Analysis and Information Systems, Sankt Augustin, Nemčija
90. Frontier Innovations, Grčija
91. FUNDACIO EURECAT, Barcelona, Španija
92. FUNDACION DE LA COMUNIDAD VALENCIANA PARA LA INVESTIGACION, PROMOCION Y ESTUDIOS COMERCIALES DE VALENCIAPORT, Valencia, Španija
93. Geoville Informationssysteme und Datenverarbeitung GmbH, Innsbruck, Avstrija
94. GFT ITALIA SRL, Milano, Italija
95. Google, Mountain View, ZDA
96. Google, Zürich, Švica
97. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover – L3S Research Center, Hannover, Nemčija
98. Graz University of Technology, Institute for Theoretical Computer Science (IGI), Gradec, Avstrija
99. HAN University of applied sciences, Nizozemska
100. HANSE AEROSPACE WIRTSCHAFTSDIENST GMBH, Hamburg, Nemčija
101. Harokopio University of Athens, Grčija
102. Hasso Plattner Institute, Nemčija
103. Hella Saturnus, Ljubljana, Slovenija
104. Hellenic Telecommunications Organization S.A., Grčija

105. HP Composites SpA, Italija
106. Hrvatska Pošta, Zagreb, Hrvatska
107. i2CAT Foundation, Španija
108. IBM Israel Science & Technology Ltd, Izrael
109. Icelandic Institute for Intelligence Machines, Reykjavik, Islandija
110. IDC, Italija
111. IDEAS NCBR, Poljska
112. ideXlab, Pariz, Francija
113. Idiap Research Institute, Švica
114. IMA Magnets, Španija
115. IMDEA Nanoscience, Španija
116. Immersivelives, Portugalska
117. Inneurope, Španija
118. InnoCube, Grčija
119. INNOV-ACTS LIMITED, Nicosia, Ciper
120. INNOVATION SPRINT, Bruselj, Belgija
121. INRIA Lille - Nord Europe, Lille, Francija
122. INRIA, Pariz, Francija
123. Insomnia Digital Innovation, Španija
124. Institut Mines-Télécom (IMT), Francija
125. Institut National De Recherche En Informatique Et Automatique, Francija
126. Institute for Bulgarian Language Prof Lyubomir Andreychin, Sofija, Bolgarija
127. Institute for Language and Folklore, Stockholm, Švedska
128. Institute for Language and Speech Processing, R. C. Athena, Atene, Grčija
129. Institute for Lithuanian Language, Vilna, Litva
130. INSTITUTE OF COMMUNICATION AND COMPUTER SYSTEMS, Atene, Grčija
131. Institute of Science and Technology - IST, Klosterneuburg, Avstrija
132. Institute of the Estonian Language, Talin, Estonija
133. Institution Information Technologies Institute (CERTH - ITI), Thessaloniki, Grčija
134. Instituto Cervantes, Madrid, Španija
135. Instituto Italiano di Tecnologia, Italija
136. Instituut Voor Nederlandse Lexicologie, Lieden, Nizozemska
137. Institut za novejšo zgodovino, Ljubljana, Slovenija
138. Intellectual Property Committee, Ljubljana, Slovenija
139. International Computer Science Institute (ICSI), Berkeley, Kalifornija, ZDA
140. International Data Spaces e. V., Nemčija
141. International Network for Terminology, Dunaj, Avstrija
142. INTRASOFT International SA, Bruselj, Belgija
143. Iren Rinnovabili srl, Iren, Italija
144. Iskratel, d. o. o., Kranj
145. Italtel, Italija
146. JEMS, ENERGETSKA DRUŽBA, D. O. O., Ljubljana, Slovenija
147. JOANNEUM RESEARCH FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH, Gradec, Avstrija
148. Johann Wolfgang Goethe Universitaet Frankfurt Am Main Frankfurt, Nemčija
149. JOT INTERNET MEDIA ESPAÑA SL, Madrid, Španija
150. Kabarak University, Nakuru, Kenija
151. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
152. Katholieke Universiteit Leuven, Lueven, Belgija
153. King's College, London, Velika Britanija
154. KLINIKUM NURNBERG, Nuremberg, Nemčija
155. Knowledge 4 All Foundation, London, Velika Britanija
156. Kobenhavns Universitet, Danska
157. KONNEKT ABLE TECHNOLOGIES LIMITED, Waterford, Irsko
158. Közép-Európai Egyetem (CEU), Madžarska
159. KPAD Ltd, Velika Britanija
160. KTH Stockholm, Stockholm, Švedska
161. La Sorbonne UPMC, Pariz, Francija
162. Landbrug & Fodevarer F.M.B.A., Copenhagen, Danska
163. Language Technology Centre Ltd., Surrey, Velika Britanija
164. LEANSCALE SL, Madrid, Španija
165. Leeds University, Leeds, Velika Britanija
166. Leibniz Universität Hannover, Hannover, Nemčija
167. Leiden University, Leiden, Nizozemska
168. Lighthouse AI, Palo Alto, Kalifornija, ZDA
169. Linköping University, Švedska
170. LPP, Ljubljana, Slovenija
171. Magellium SAS, Ramonville St Agne Cedex, Francija
172. MAGGIOLI SPA, Santarcangelo Di Romagna, Italija
173. Masakhane Foundation, Južna Afrika
174. Max Planck Institut für Biologische Kybernetik, Tübingen, Nemčija
175. Metamazônia Brasil Ltda, Brazilija
176. Microsoft Research Ltd., Cambridge, Velika Britanija
177. Ministrstvo za digitalno preobrazbo, Slovenija
178. Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
179. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
180. Ministrstvo za javno upravo, Ljubljana, Slovenija
181. Ministrstvo za kulturo, Ljubljana, Slovenija
182. Ministrstvo za visoko šolstvo, Slovenija
183. Ministrstvo za znanje zadeve, Ljubljana, Slovenija
184. Ministry of tourism, Grčija
185. Nantes Universite, Nantes, Francija
186. NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Singapur, Singapur
187. National & Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
188. National Bank of Greece S.A., Palamas, Grčija
189. National Cheng Kung University, Tainan, Tajvan
190. NEC Corporation, Nemčija
191. Nemška razvojna agencija (GIZ), Nemčija
192. Netcompany-Intrasoft, Luksemburg
193. Network of diplomatic representations of Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
194. New York Times, New York, ZDA
195. Nissatech Innovation Centre, Niš, Srbija
196. Northeastern University, Northeastern Civic A.I., Boston, Massachusetts, ZDA
197. Norwegian computing center, Norveška
198. Norwegian Mapping Agency, Honefoss, Norveška
199. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška
200. Novoville Ltd., Velika Britanija
201. NTUA - National Technical University of Athens, Atene, Grčija
202. NUI Galway, Galway, Irsko
203. Okys, Bolgarija
204. Olsen Ltd AG, Zürich, Švica
205. Ontotext AD, Sofia, Bolgarija
206. Open Data Institute (ODI), London, Velika Britanija
207. Oxford University, Oxford, Velika Britanija
208. Permanent Mission of the Republic of Slovenia to the United Nations, New York, ZDA
209. Philips Electronics Nederland B.V., Nizozemska
210. Pinterest, San Francisco, ZDA
211. PlayGen Ltd, London, Velika Britanija
212. Politehnica University of Bucharest, Romunija
213. Politechnika Warszawska, Varšava, Poljska
214. Politecnico Di Milano, Milan, Italija
215. POLYTECHNEIO KRITIS, Chania, Grčija
216. Polytechnic Institute of Paris, Francija
217. POSTE ITALIANE - SOCIETA PER AZIONI, Rim, Italija
218. PostEurop, Bruselj, Belgija
219. Pošta Slovenije, Ljubljana, Slovenija
220. PRIVE SERVICES EUROPE GMBH, Dunaj, Avstrija
221. QLECTOR, RAZVOJ CELOVITIH REŠITEV ZA PAMETNE TOVARNE, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
222. Queen Mary University of London, London, Velika Britanija
223. Queensland University of Technology, Brisbane, Avstralija
224. Radboud University of Nijmegen, Nijmegen, Nizozemska
225. Real Academia Espanola, Madrid, Španija
226. Real-Time Systems Lab of Scuola Superiore Sant'Anna (SSS), Italija
227. Regional Center for Studies on the Development of the Information Society (CETIC), São Paulo, Brazilija
228. Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (REC), Szentendre, Madžarska
229. REGISTERENHETEN I BRONNOYSUND, Bronnoysund, Norveška
230. RENSSLAER POLYTECHNIC INSTITUTE, Troy, ZDA
231. REPORTBRAIN LIMITED, London, Velika Britanija
232. Research ICT Africa, Cape Town, Južna Afrika
233. Research Institute for Linguistics of the Hungarian Academy of Sciences, Budimpešta, Madžarska
234. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Nemčija
235. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen - RWTH, Aachen, Nemčija
236. Robert Koch-Institut, Nemčija
237. ROESSINGH RESEARCH AND DEVELOPMENT BV, Enschede, Nizozemska
238. Royal Holloway, University of London, London, Velika Britanija
239. Rutgers University, New Jersey, ZDA
240. S2 GRUPO DE INNOVACION EN PROCESOS ORGANIZATIVOS SL, Valencia, Španija
241. Saarland University, Saarbrücken, Nemčija
242. SANTANDER UK PLC, London, Velika Britanija
243. SAP AG, Walldorf, Nemčija
244. SCI - University of Utah, Salt Lake City, ZDA
245. Semantic Technology Institute International, Dunaj, Avstrija
246. Semantic Technology Institute, University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
247. SIA SPA, Milano, Italija
248. SIDROCO, Grčija
249. Siemens, München, Nemčija
250. Siernigise, Laboratory for geographical information systems, Ltd., Ljubljana, Slovenija
251. Singular Logic - Information Systems & Applications SA, Atene, Grčija
252. SISSA Medialab, Trst, Italija
253. SIVECO ROMANIA SA, Bukarešta, Romunija
254. Slovenian National Committee for UNESCO, Ljubljana, Slovenija
255. Slovenska tiskovna agencija, Ljubljana, Slovenija
256. SOFTWARE AG, Darmstadt, Nemčija
257. SOFTWARE IMAGINATION & VISION SRL, Bukarešta, Romunija
258. Sorbonne Universite, Francija
259. SPAZIODATI SRL, Trento, Italija
260. St Louis University, Saint Louis, ZDA

261. Stanford University, Palo Alto, ZDA
262. Steinbeis Innovation gGmbH, Stuttgart, Nemčija
263. Stichting Centrum Voor Wiskunde En Informatica, Amsterdam, Nizozemska
264. STICHTING IHE DELFT INSTITUTE FOR WATER EDUCATION, Delft, Nizozemska
265. Stiftelsen Sintef, Trondheim, Norveška
266. Stockholm University, Stockholm, Švedska
267. Studio Moderna d.o.o., Zagorje ob Savi, Ljubljana
268. SVEUCILISTE U RIJECI EKONOMSKI FAKULTET, Reka, Hrvaška
269. Sveuciliste u Zagrebu Filozofski Fakultet – University of Zagreb, Zagreb, Hrvaška
270. Swedish Centre for Terminology, Stockholm, Švedska
271. Špica International, d. o. o., Ljubljana
272. T U Berlin, Berlin, Nemčija
273. TAMPEREEN KORKEAKOULUSAATIO SR, Tampere, Finska
274. TAMPEREEN YLIOPISTO, Tampere, Finska
275. Tanzania AI Lab & Community, Dar Es Salaam, Tanzanija
276. Techila Technologies Ltd, Tampere, Finska
277. Technical University of Crete – Industrial and Digital Innovations research Group, Grčija
278. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Kopenhagen, Danska
279. Technical University of Kosice, Košice, Slovaška
280. Technicolor, Pariz, Francija
281. Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Izrael
282. TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN, Dresden, Nemčija
283. Technische Universität Kaiserslautern, Nemčija
284. Technische Universität Wien, Avstrija
285. Technische Universität Berlin, Nemčija
286. Technische Universität München, München, Nemčija
287. Technische Universität Delft, Nizozemska
288. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Nizozemska
289. Tecnalia, Španija
290. TEKNOLOJİ ARASTIRMA GELİSTİRME ENDÜSTRİYEL URUNLER BİLİSİM TEKNOLOJİLERİ SANAYİ VE TİCARET ANONİM TİCARET, Istanbul, Turčija
291. Tel Aviv University, Tel Aviv, Izrael
292. Telefonica Investigacion Y Desarrollo SA, Španija
293. TELEFONICA INVESTIGACION Y DESARROLLO SA, Madrid, Španija
294. Telekom Slovenije, Ljubljana, Slovenija
295. Telenor ASA, Fornebu, Norveška
296. THALES ALENIA SPACE, Cannes, Francija
297. Thales DIS GBU, Francija
298. Thales Research & Technology, Palaiseau, Francija
299. Thales Six Gts France SAS, Francija
300. The Alan Turing Institute, London, Velika Britanija
301. The European Students' Union, Bruselj, Belgija
302. The Hague University of Applied Sciences, Den Haag, Nizozemska
303. The Open University, Milton Keynes, Velika Britanija
304. The University of Limerick, Localisation Research Centre, Limerick, Irsko
305. THE UNIVERSITY OF MANCHESTER, Manchester, Velika Britanija
306. The University of Sussex, Velika Britanija
307. TIB Hannover – The German National Library of Science and Technology, Hannover, Nemčija
308. Ticon Uk Limited, London, Velika Britanija
309. TILDE, Riga, Latvija
310. TIS Transport, Innovation and Systems Consultancy, Lizbona, Portugalska
311. TNO, Delft, Nizozemska
312. Toshiba, Cambridge, Velika Britanija
313. TU Berlin / DAI-Lab, Berlin, Nemčija
314. TU Delft, Digital Ethics Centre
315. TU Delft, Digital Ethics Centre, Delft, Nizozemska
316. TU Wien, Dunaj, Avstrija
317. TurboInstitut, d. d., Ljubljana, Slovenija
318. Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi, Körfez, Turčija
319. TÜV AUSTRIA Hellas, Grčija
320. Ubitech Energy, Belgija
321. UBITECH LIMITED, Grčija
322. U København's Universitet, Kopenhagen, Danska
323. Umeå University, Umeå, Švedska
324. UNESCO Office, Ljubljana, Slovenija
325. UNESCO, Paris, Francija
326. UNESCO's High Level Expert Group for the implementation of the UNESCO Recommendation on the Ethics of AI, Pariz, Francija
327. UNICEF, New York, ZDA
328. Unilever, London, Velika Britanija
329. UNINOV – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS – ASSOCIACAO, Portugalska
330. Univerity of Groningen, Nizozemska
331. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, Španija
332. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Madrid, Španija
333. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Španija
334. Universidad Pompeu Fabra, Španija
335. Università Ca' Foscari di Venezia, Benetke, Italija
336. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI GENOVA, Genoa, Italija
337. Università degli Studi di Milano, Milano, Italija
338. Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italija
339. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PAVIA, Pavia, Italija
340. Università degli Studi di Roma La Sapienza, Rim, Italija
341. Università dell'Insubria, Varese, Italija
342. Università Di Pisa, Italija
343. UNIVERSITA POLITECNICA DELLE MARCHE, Ancona, Italija
344. UNIVERSITAET OSNABRUECK, Nemčija
345. Universitat d'Alicante, Alicante, Španija
346. Universitat de les Illes Balears, Palma, Španija
347. Universitat de Lleida, Lleida, Španija
348. Universitat de Valencia, Valencia, Španija
349. UNIVERSITAT JAUME I DE CASTELLON, Castellon de la Plana, Španija
350. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija
351. Universitat Politècnica de València – UPV, Valencia, Španija
352. Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Španija
353. Universität Stuttgart, Stuttgart, Nemčija
354. Universität Trier, Trier, Nemčija
355. Université de Geneve, Ženeva, Švica
356. UNIVERSITE DU LUXEMBOURG, Luxembourg, Luksemburg
357. Université Grenoble Alpes, Francija
358. UNIVERSITE PARIS I PANTHEON – SORBONNE, Pariz, Francija
359. Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
360. Universiteit Leiden, Nizozemska
361. Universiteit Utrecht, Utrecht, Nizozemska
362. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
363. University College Cork – National University of Ireland, Cork, Irsko
364. University College Dublin, Dublin, Irsko
365. University College London, Centre for Artificial Intelligence, London, Velika Britanija
366. University Islamabad of the Islamic Republic of Pakistan (COMSATS), Islamabad, Pakistan
367. University of Aalto, Helsinki, Finska
368. University of Aegean, Mytilini, Grčija
369. University of Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
370. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
371. University of Barcelona, Španija
372. University of Belgrade, Srbija
373. UNIVERSITY OF BRIGHTON, Brighton, Velika Britanija
374. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
375. University of British Columbia, Vancouver, Kanada
376. University of Cambridge, Cambridge, Velika Britanija
377. University of Cape Coast, Cape Coast, Gana
378. University of Coimbra, Coimbra, Portugalska
379. University of Copenhagen, Kopenhagen, Danska
380. University of Economics, Prague, Praga, Češka
381. University of Edinburgh, Edinburgh, Velika Britanija
382. University of Essex, Colchester, Velika Britanija
383. University of Fribourg, Fribourg, Švica
384. University of Gabes, Gabes, Tunizija
385. University of Galway, Irsko
386. University of Glasgow, Glasgow, Velika Britanija
387. University of Gothenburg, Gothenburg, Švedska
388. University of Heidelberg, Heidelberg, Nemčija
389. University of Helsinki, Helsinki, Finska
390. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
391. University of Karlsruhe, Institute AIFB, Nemčija
392. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija
393. University of Leoben, Leoben, Avstrija
394. University of Liege, Liege, Belgija
395. University of Lisbon Algebra Center, Lizbona, Portugalska
396. University of Liverpool, Liverpool, Velika Britanija
397. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
398. University of London, London, Velika Britanija
399. University of Manchester, Manchester, Velika Britanija
400. University of Modena and Reggio Emilia, Italija
401. University of Monastir, Monastir, Tunizija
402. University of Murcia (UMU), Španija
403. University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenija
404. University of Oslo, Norveška
405. University of Oviedo (ILTO), Asturias, Španija
406. University of Oxford, Oxford, Velika Britanija
407. University of Pennsylvania, Pennsylvania, ZDA
408. UNIVERSITY OF PIRAEUS RESEARCH CENTER, Piraeus, Grčija
409. University of Pretoria, Pretoria, Južna Afrika
410. University of Sheffield, Sheffield, Velika Britanija
411. University of Siena, Siena, Italija
412. University Of Southampton, Southampton, Velika Britanija
413. University of St. Andrews, St. Andrews, Velika Britanija
414. University of Surrey, Guildford, Velika Britanija

415. University of Szeged, Juhasz Gyula, Teachers Training Faculty, Szeged, Madžarska
416. University of Tartu, Tartu, Estonija
417. University of the Aegean (UoA), Mytilini, Grčija
418. University of Toulouse, Francija
419. University of Trento, Italija
420. University of Tübingen, Nemčija
421. University of Tuscia, Viterbo, Italija
422. University of Venice/ECLT, Benetke, Italija
423. University of Western Macedonia, Severna Makedonija
424. University of Wolverhampton (UoW), Wolverhampton, Velika Britanija
425. University of York, York, Velika Britanija
426. University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics, Varaždin, Hrvaška
427. University Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Pariz, Francija
428. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
429. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
430. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
431. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
432. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
433. Unparallel, Portugalska
434. UP IAM – University of Primorska, Andrej Marušič Institute, Koper, Slovenija
435. UPC Barcelona / Universidad de Cantabria, Barcelona, Španija
436. Urad Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov, Ljubljana, Slovenija
437. US Military Academy, West Point, New York, ZDA
438. Vilabs, Grčija
439. VILLE DE CAROUGE, Ženeva, Švica
440. Virtual Open Systems, Francija
441. VISTATEC LTD, Dublin, Irska
442. Volkswagen AG, Nemčija
443. WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Varšava, Poljska
444. Wikimedia, Berlin, Nemčija
445. Working group for the Digital Competences Framework (DigComp 2.2), set up by the European Commission, Bruselj, Belgija
446. WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, Wroclaw, Poljska
447. Xlab, Teslova 30, Ljubljana, Slovenija
448. Yahoo! Research, New York, ZDA
449. ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN, Winterthur, Švica

LABORATORIJ ZA ODPRTE SISTEME IN MREŽE

E-5

Aktivnosti Samostojnega laboratorija za odprte sisteme in mreže so usmerjene v raziskave in razvoj omrežij naslednje generacije, internetnih tehnologij, komponent in integriranih sistemov ter storitev in aplikacij informacijske družbe, predvsem tistih, ki zagotavljajo varnost in zasebnost.

Člani laboratorija so v letu 2023 opravljali raziskovalno, razvojno in pedagoško delo. Raziskave in razvojne dejavnosti so potekale v okviru raziskovalnega programa Tehnologije interneta prihodnosti: koncepti, arhitekture, storitve in družbeno-ekonomski vidiki ter pri več domačih in mednarodnih projektih.

Na področje varnih sodobnih omrežij, internetnih tehnologij in informacijskih sistemov spadajo projekti CONCORDIA, DE4A, BD4OPEM in iFlex iz programa Obzorje 2020, projekt RESONANCE iz programa Obzorje Evropa, projekt SiQUID iz programa Digitalna Evropa ter ciljni raziskovalni projekt *Kibernetska varnost in veliki jezikovni modeli*. Raziskave digitalne pismenosti starejših so potekale pri projektu DIGIBLEND iz programa Erasmus+, aktivnosti v zvezi z enakovredno obravnavo spolov pa pri projektu ATHENA iz programa Obzorje 2020.

Rezultati raziskav so bili vključeni v pedagoške dejavnosti članov laboratorija, ki sodelujejo kot visokošolski učitelji na dodiplomskem in podiplomskem študiju na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana, Fakulteti DOBA in Fakulteti za komercialne in poslovne vede. Laboratorij je član Evropske organizacije za kibernetsko varnost (ECISO).



Vodja:

doc. dr. Tomaž Klobučar

Koncepti in arhitektura varnih internetnih omrežij, internetnih tehnologij in informacijskih sistemov

Prvi sklop raziskav je bil povezan z varnostno infrastrukturo in zaupanja vrednimi storitvami na področjih javne uprave in industrijskih sistemov.

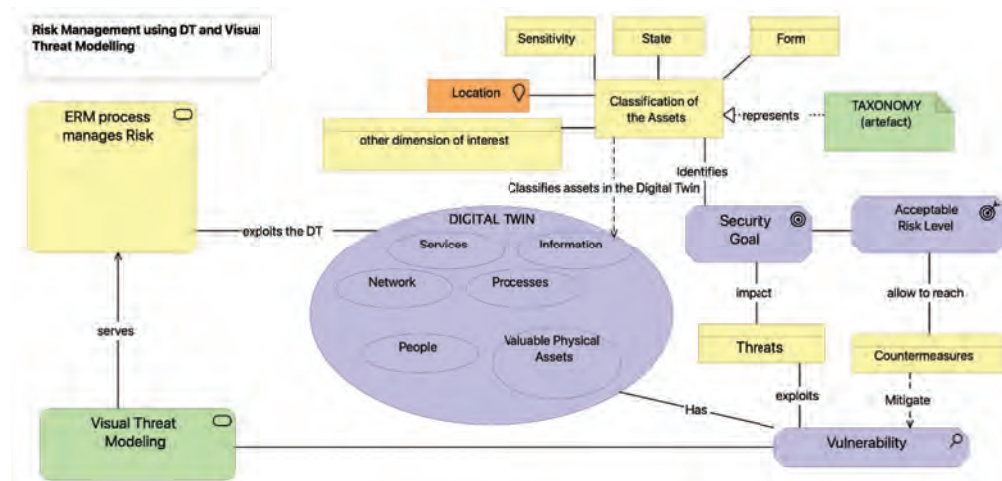
Cilj projekta DE4A (Digital Europe for all), ki se je zaključil v letu 2023, je bil olajšati državam članicam EU prehod na varne evropske čezmejne digitalne javne storitve, okrepiti zaupanje v javne ustanove ter povečati njihovo učinkovitost in zmanjšati administrativna bremena in stroške.

Projekt je poenostavil čezmejno uporabo izbranih postopkov, sistemov in platform ter v praksi pokazal koristi pri čezmejnem uresničevanju načel *samo enkrat in najprej digitalno*. Pri projektu, ki je zagotovil tudi skladnost e-storitev z najnovejšimi direktivami in uredbami EU (npr. eIDAS, SDG), smo vodili pilot o varnih čezmejnih e-storitvah na področju izobraževanja, in sicer prijave za sprejem v visokošolske zavode, vloge za štipendije in priznavanje diplom, ter delovni sklop za analizo stanja na področju čezmejnih e-storitev v EU. V letu 2023 smo s pomočjo študentov iz Španije in Portugalske testirali varno čezmejno storitev za oddajo vlog za štipendije, ki študentom omogoča, da za dostop do storitve uporabijo svojo nacionalno e-identiteto, potrebna dokazila, na primer potrdilo o diplomu, pa se samodejno prenesejo iz avtentičnega vira v njihovi državi. Nadalje smo zbrali informacije o uporabnosti skupnih komponent in specifikacij, analizirali koristi pilotnih storitev za študente, visokošolske ustanove in države članice EU, predstavili izkušnje, pridobljene v fazah analize, načrtovanja, prilagajanja in integracije storitev, ter oblikovali priporočila za vse, ki še morajo vzpostaviti varne čezmejne digitalne javne storitve. Drugi slovenski partnerji pri projektu so bili Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ministrstvo za javno upravo in Univerza v Mariboru.

V preteklem letu smo aktivnosti na področju varnostnih arhitektur in kritične infrastrukture razširili z raziskovanjem načrtovanja in uporabe digitalnih dvojčkov za kibernetsko varnost. To je zajemalo celoten življenjski cikel sistema, od začetka do izvedbe in upravljanja, s celostnim pogledom na varnost, ki zajema vidike odkrivanja, zaščite, zaznavanja, odziva in analize. Naše ugotovitve so bile dokumentirane v dveh znanstvenih publikacijah: *Varovanje kritične infrastrukture z digitalnim dvojčkom za kibernetsko varnost* in *Analiza tveganja na podlagi taksonomije z digitalnim dvojčkom*. V prvi je predstavljena pionirska metodologija za oblikovanje varnostno usmerjenega digitalnega dvojčka, prilagojenega kibernetsko-fizičnim kritičnim sistemom. Ta metoda uporablja arhitekturni pristop k načrtovanju s privzeto varnostjo, ki je uporaben za nove in obstoječe sisteme, rezultat pa je celovit katalog sredstev, strukturiran z vidika arhitekture kibernetske varnosti. Novi pristop olajša izbiro ustreznih protiukrepov na podlagi želenih varnostnih ciljev, zagotavlja celovitost zasnove digitalnega dvojčka, hkrati pa daje strokovnjakom jasne smernice za modeliranje v skladu z obstoječimi standardi za varnost kritične infrastrukture. Metodologijo smo potrdili z uporabo na dejanskih primerih, kot so kooperativni inteligentni transportni sistemi ter sistemi za avtomatizacijo in nadzor v cestnih predorih, kar je prineslo ciljno usmerjeno analizo kibernetskih napadov in ustrezne ukrepe za zmanjšanje tveganja.

Izdelali smo gradnike za varnostno infrastrukturo in zaupanja vredne storitve, ki omogočajo digitalizacijo javnega sektorja.

Na podlagi teh ugotovitev smo predlagali okvir, ki združuje digitalnega dvojčka in na človeka osredotočen vidik zagotavljanja varnosti s pomočjo analize tveganja na podlagi taksonomije. Pokazali smo, kako je mogoče taksonomije, digitalne modele podjetij in vizualna orodja za modeliranje izkoristiti za analizo in upravljanje tveganj ter tako učinkovito premostiti komunikacijsko vrzel med tehničnimi in netehničnimi deležniki. Z vključitvijo vseh pomembnih strani v procesu odločanja, povezanem z upravljanjem tveganj, smo zadovoljili ključno potrebo v današnjih organizacijah, kjer je strokovnega znanja o varnosti vse manj.



Slika 1: Upravljanje s tveganji s pomočjo digitalnega dvojčka in vizualnega modeliranja groženj

V okviru infrastrukturnega programa v raziskovalnih organizacijah so sodelavci laboratorija še naprej ponujali podporo informacijskim in komunikacijskim storitvam, ki omogočajo boljšo komunikacijo tako med člani različnih raziskovalnih programov kot tudi študenti in njihovimi mentorji iz geografsko porazdeljenih institucij. Infrastrukturna skupina daje opremo za izvedbo velikih in interaktivnih sodelovalnih dogodkov na voljo članom instituta ter državnim in drugim neprofitnim javnim organizacijam. Za medsebojno komunikacijo zagotavljamo odsek in drugim oddelkom instituta licence videokonferenčnega sistema GotoMeeting, skupaj s Centrom za mrežno infrastrukturo pa tudi licence za Zoom in storitev webinarja za večje število udeležencev. S pomočjo storitev raziskovalne infrastrukture podpiramo 31 odsekov, laboratorijev, centrov in drugih organizacijskih enot instituta.

Digitalne storitve in internetne tehnologije v energetiki

Velik delež projektov je povezan z načrtovanjem, implementacijo ter uporabo digitalnih storitev in internetnih tehnologij v energetiki. BD4OPEM (Big Data for Open Innovation Energy Marketplace) razvija podatkovno usmerjen sistem, ki omogoča razvoj inovativnih storitev za potrebe deležnikov energetskega sistema. Podatkovni tokovi skozi projektno tržnico omogočajo analitske storitve za spodbujanje razvoja novih poslovnih modelov in priložnosti. V

Internetne tehnologije omogočajo lažje vključevanje končnih uporabnikov v procese trga električne energije, distribucijskim operaterjem pa pomagajo pri upravljanju.

letu 2023 smo se osredotočili na obravnavo in razvoj storitev napovednega vzdrževanja, obravnavo netehničnih izgub, napovedovanje prožnosti v omrežju in storitve zagotavljanja prožnosti za distributerje električne energije. Razvili smo sistemski modul za zagotavljanje storitev ter modul za avtomatsko upravljanje storitev. Izvajanje storitev smo zagotovili v lastnem oblaknem okolju in ga povezali s projektno tržnico. Uspešno smo opravili

vrsto testiranj storitev v slovenskem, španskem in turškem pilotnem okolju. Pri projektu poleg laboratorija sodeluje tudi Odsek za komunikacijske sisteme z IJS.

iFlex (Intelligent Assistants for Flexibility Management) je projekt, ki se osredotoča na načrtovanje, razvoj in evalvacijo podpornih orodij za učinkovito sodelovanje končnega uporabnika pri raznovrstnih storitvah prihodnjega pametnega energetskega omrežja ter za lažje doseganje trajnostnih ciljev uporabnikov in njihovih stavb. V njem sodeluje več slovenskih organizacij: Elektro Celje, Elektro Celje Energija, Smart Com, Zveza potrošnikov Slovenije in Laboratorij za odprte sisteme in mreže. Naloge laboratorija so usmerjene v zagotovitev varnosti in zaščite podatkov, podatkovno analitiko, izvedbo digitalnega dvojčka pametnega doma oziroma večstanovanjske stavbe ter optimalno, večkriterijsko krmiljenje porabe. V letu 2023 smo uspešno uporabljali osnovne podatkovne storitve slovenskega pilota za končne uporabnike, nadaljevali razvoj pametnega dvojčka za gospodinjstva s toplotno črpalko in zalogovnikom ter ga nadgradili z metodologijo določanja fizičnih gradbenih parametrov enostanovanjskih stavb na podlagi standardnega modela RC in nevronske mreže na podlagi navadnih diferencialnih enačb.

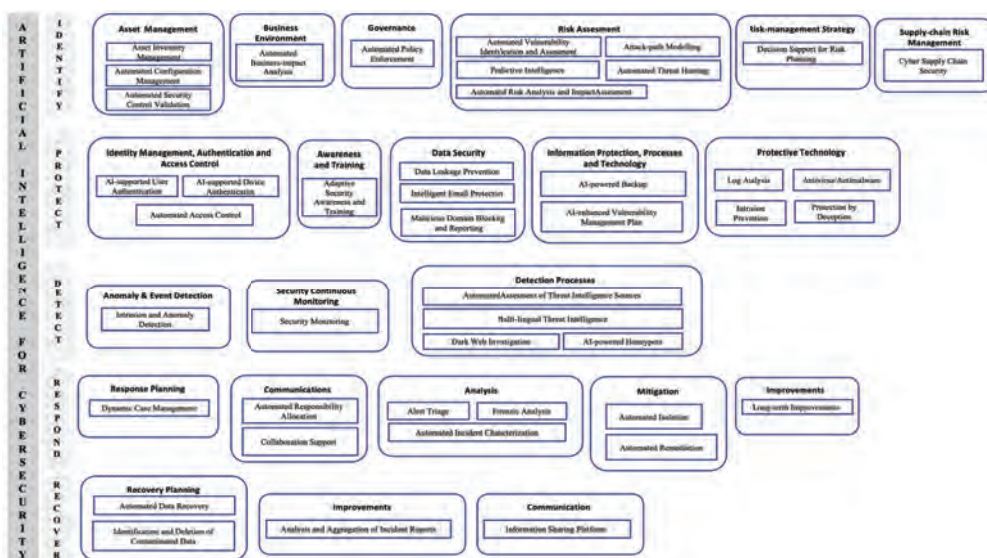
Projekt **Resonance** (Replicable and Efficient Solutions for Optimal Management of Cross-sector Energy) razvija katalog strojnih in programskih rešitev za učinkovito upravljanje porabe in proizvodnje energije raznovrstnih končnih uporabnikov, od gospodinjstev, stanovanjskih objektov in poslovnih stavb do trgovskih centrov in industrije. Elementi kataloga se razvijajo na treh ravneh, in sicer na ravni upravljalca virov, upravljalca energije uporabnika in povezovalcev storitve. Kataloške rešitve bodo razvite in preizkušene v šestih državah: Franciji, Nemčiji, Švedski, Finski, Grčiji in Sloveniji. V projektu deluje močan slovenski konzorcij, katerega del so ECE, Elektro Celje, SmartCom, Amibit in IJS. V slovenskem pilotu se posvečamo rešitvam za gospodinjstva s toplotnimi črpalkami in obnovljivimi viri, cenovnim rešitvam za prilagajanje porabe in povezovanje upravljalcev energije uporabnika za upravljanje energetskih neravnovesij. V drugem pilotnem ciklu bomo evalvirali rešitve za ogrevanje večstanovanjskih stavb, hranilnikov energije in električnih vozil ter optimizacijo rešitev za energetsko učinkovitost. Pri projektu vodimo delovni paket za razvoj kataloga upravljalca virov in nalog, povezanih z varnostjo in zasebnostjo ter zagotavljanjem podatkovnih storitev.

Mehanizmi za zagotovitev varnosti in zasebnosti v informacijskih sistemih

Med novejšo tehnologijo, ki obetajo učinkovitejšo zagotavljanje kibernetske varnosti, prištevamo umetno inteligenco (UI), uporabno zlasti pri analizi in obdelavi velikega števila varnostno relevantnih dogodkov ter odkrivanju še neznanih groženj in oblik kibernetskih napadov in odzivanju nanje. Pri ciljnem raziskovalnem projektu **Kibernetska varnost in veliki jezikovni modeli** smo začeli z raziskavo možnosti uporabe velikih jezikovnih modelov (LLM) za dvig ravni kibernetske varnosti ter z lokalno vzpostavitev in prilagoditvijo odprtokodnega LLM za varnostne potrebe. Rezultati bodo omogočili boljše razumevanje vloge, potencialov in zahtev za delovanje sistemov na podlagi LLM pri zagotavljanju kibernetske varnosti ter lažje vključevanje takšnih sistemov v obstoječe informacijske sisteme in povezovanje z drugimi varnostnimi rešitvami, na primer s požarnimi zidovi, sistemi za odkrivanje vdorov ipd.

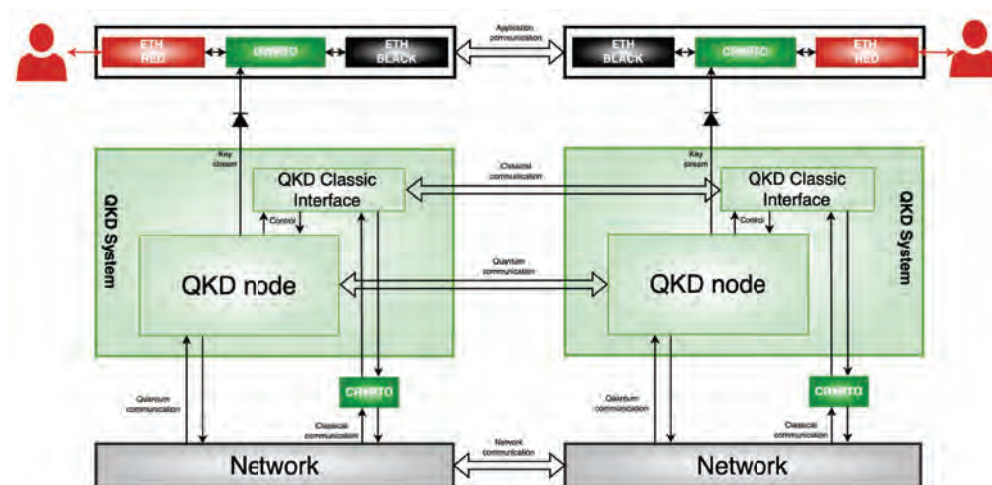
Nadalje smo v znanstveni reviji *Information fusion* s faktorjem vpliva več kot 18 predstavili novo taksonomijo metod UI za kibernetsko varnost in opisali primere uporabe UI za kibernetsko varnost. Na podlagi analize literature smo oblikovali seznam raziskovalnih in razvojnih vrzeli, ki so bile razvrščene v štiri sklope: i) nova področja uporabe UI v kibernetski varnosti, (ii) viri in predstavitev podatkov, (iii) napredne metode UI za kibernetsko varnost ter (iv) raziskave in razvoj nove infrastrukture.

Laboratorij za odprte sisteme in mreže je bil član projekta **CONCORDIA**, enega od štirih evropskih centrov odličnosti kibernetske varnosti iz programa Obzorje 2020. Center je ponudil raziskovalne in razvojne rešitve za varen, odporen in zaupanja vreden evropski ekosistem. V zadnjem letu smo na podlagi izčrpne mednarodne raziskave o stanju in potrebah izobraževanja dijakov srednjih šol na območju EU razvili moderen, fleksibilen in interaktiven izobraževalni program za pouk dijakov srednjih šol in za izpopolnjevanje znanja učiteljev računalništva s področja kibernetske varnosti. Novi izobraževalni program kibernetske varnosti, ki vključuje e-vire za interaktivno učenje in vaje v realnem okolju ter izobraževalne igre, je bil v prvem šolskem polletju leta 2023 izvajan na devetih šolah po vsej Evropi. Iz Slovenije je sodelovalo 330 dijakov. Učinek in uspeh novega razvitega programa smo preverili z organizacijo mednarodnega tekmovanja na internetu Catch The Flag – Najdi in zgrabi zastavo. Na tekmovanju 19 šolskih ekip iz Romunije, Hrvaške in Slovenije je bila najboljša slovenska ekipa uvrščena na peto mesto.



Slika 2: Primeri uporabe UI za kibernetsko varnost

Od začetka 2023 smo skupaj z nekaj drugimi odseki in centri IJS (F1, F5, E6, CMI) vključeni v projekt SiQUID (Slovenian Quantum Communication Infrastructure Demonstration), ki vzpostavlja sistem za kvantno distribucijo ključev (QKD) med več vladnimi vozlišči v Sloveniji in testno kvantno omrežje za napredne kvantne komunikacijske protokole med raziskovalnimi ustanovami v Ljubljani. Naš laboratorij sodeluje pri zbiranju primerov uporabe in določanju varnostnih zahtev sistema ter pri ocenjevanju tveganj uvedbe tehnologije QKD in medsebojnega povezovanja z obstoječimi varnostnimi sistemi. Na podlagi teh raziskav bomo predlagali tudi potrebne prilagoditve obstoječih varnostnih politik za zmanjšanje tveganj. V prvem letu smo določili zahteve, ki jih mora izpolnjevati sistem SiQUID, vključno z zahtevami glede varnosti, QKD, funkcionalnosti, integracije in čezmejne interoperabilnosti. Nadalje smo predlagali zasnovano arhitekturo, ki zagotavlja doseganje varnostnih ciljev sistema. Opredelili smo tudi ključne izzive in odprta raziskovalna vprašanja na področju kvantnih omrežij ter predstavili možne rešitve, ki omogočajo uresničitev varnih in zanesljivih kvantnih omrežij. Ker se kvantna omrežja še naprej razvijajo, bo reševanje teh izzivov ključno za uresničitev njihovega polnega potenciala za varno komunikacijo in računanje. Rezultati so bili objavljeni v znanstvenem članku v reviji *IEEE Access*.



Slika 3: Kvantna distribucija ključev za zaščito omrežij

Storitve, aplikacije in družbeno-ekonomski vidiki informacijske družbe

Uspešno poučevanje starejših glede osnovnih digitalnih veščin zahteva prístup, ki temelji na njihovih potrebah in zmožnostih. V okviru projekta DIGIBLEND (Izboljšanje digitalne pismenosti odraslih z inovativnim igrificiranim mešanim učenjem) iz programa Erasmus+ smo nadaljevali z raziskavo na področju razvijanja nove paradigme učenja za krepitev osnovnih digitalnih kompetenc pri starejših. Oblikovali smo eksperimentalni protokol, katerega namen je preveriti učinkovitost namizne igre za ocenjevanje digitalnih kompetenc. Na podlagi spoznanj iz predhodne študije

smo nadaljevali z inovacijami in zasnovali celostni pristop, ki združuje fizični in digitalni svet iger, tako da smo razvili hibridno družabno igro, ki jo je mogoče igrati v fizični in/ali v digitalni obliki. Ob zaključku leta smo pripravili načrt za nadaljnjo študijo, katere glavni namen bo ocena lastnosti in učinkovitosti izpopolnjene igre.

Pri projektu Athena sodelujemo z več drugimi odseki in direktorjevo pisarno. Cilj projekta je odstranjevanje ovir za zaposlovanje in karierno napredovanje raziskovalk, zmanjšanje neravnovesja med spoloma v procesih odločanja ter ustvarjanje kulturne spremembe, ki je potrebna, da bi se izognili spolni pristranskosti in diskriminatornim praksam. V ta namen smo izdelali načrt za enakost spolov (NES) in spremljamo njegovo izvajanje. V letu 2023 smo izpeljali izobraževanje za sodelavce instituta in zagotovili ustrezne prispevke za zagotovitev sistemskih institucionalnih sprememb. Vzporedno smo vzpostavili vključujoč postopek sodelovanja, katerega cilj je, po eni strani, razumeti potrebe in želje zaposlenih na inštitutu, po drugi strani pa slednje seznaniti z izbranimi temami, povezanimi z enakovredno obravnavo spolov. Jezikovne zahteve, ki zagotavljajo enakost spolov, so bile vključene v novi statut IJS, znanstveni svet pa je sprejel novo različico študijskega pogoja sodelavcev IJS za karierno napredovanje, ki zagotavlja fleksibilnejšo izvedbo postdoktorskega študija v tujini.

Rezultati naših raziskav in razvoja prispevajo k varnejši in zaupanja vredni informacijski družbi.



Slika 4: Ocenjevanje digitalnih kompetenc s pomočjo družabnih iger

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kaur, R., Gabrijelčič, D., Klobučar, T., Artificial intelligence for cybersecurity: literature review and future research directions, *Information fusion*, 2023, 97, 101804
2. Bajrić, S., Building a sustainable ecosystem for eHealth in Slovenia: opportunities, challenges, and strategies, *Digital health*, 2023, 9
3. Masi, M., Sellitto, G. P., Aranha, H., Pavleska, T., Securing critical infrastructures with a cybersecurity digital twin, *Software and systems modeling*, 2023, 22, 2, 689–707

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Organizacija srečanja z dijaki Gimnazije Bežigrad, IJS, 13. 6. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERASMUS+; DigiBlend - Izboljšanje digitalne pismenosti odraslih z inovativnim kombiniranim učenjem s pomočjo iger
European Commission
dr. Martin Mihajlov
2. H2020 - DE4A; Digitalna Evropa za vse
European Commission
doc. dr. Tomaž Klobučar
3. H2020 - BD4OPEM; Masovni podatki za tržnico energetskih aplikacij na podlagi odprtih inovacij
European Commission
dr. Dušan Gabrijelčič
4. H2020 - iFLEX; Pametni pomočniki za upravljanje prožnosti
European Commission
dr. Dušan Gabrijelčič
5. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič
6. OE - RESONANCE; Ponovljive in učinkovite rešitve za optimalno upravljanje medsektorske energije
CINEA - The European Climate, Environment and Infrastructure Executive Agency
dr. Dušan Gabrijelčič

7. DIGITAL EU; SiQUID - Vzpostavitev slovenske infrastrukture za kvantne komunikacije
European Commission
dr. Samed Bajrić
8. COST CA21107; Neenakosti pri delu v poznejših letih na novo definiranih z digitalizacijo
COST Association AISBL
dr. Martin Mihajlov

PROGRAM

1. Tehnologije interneta prihodnosti: koncepti, arhitekture, storitve in družbeno-ekonomski vidiki
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič

PROJEKTI

1. Kibernetska varnost in veliki jezikovni modeli
doc. dr. Tomaž Klobučar
2. Pogodba o sofinanciranju projekta SiQUID
Urad Vlade Republike Slovenije za informacijsko varnost
dr. Samed Bajrić
3. Kibernetska varnost in veliki jezikovni modeli
Urad Vlade Republike Slovenije za informacijsko varnost
doc. dr. Tomaž Klobučar

OBISKI

1. Oliver Popov, Univerza v Stockholmu, Oddelek za računalništvo in sistemske znanosti, Švedska, maj 2023
2. Victor Tikhonov in Olena Tykhonova, Državna univerza za intelektualne tehnologije in telekomunikacije, Odesa, Ukrajina, 13. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Ramanpreet Kaur: AI-based solutions for different domains, 16. 6. 2023
2. Davud Topalović: Identification of physical parameters of a household, 20. 11. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Dušan Gabrijelčič, Davud Topalović, začetni sestanek projekta RESONANCE, Otaniemi, Finska, 13.–16. 2. 2023
2. Andrej Jerman Blažič, sestanek projekta DIGIBLEND, Riga, Latvija, 27.–30. 3. 2023
3. Martin Mihajlov, 2nd Management Committee and Work Group meeting of COST Action CA21107, Iași, Romunija, 27.–31. 3. 2023
4. Tomaž Klobučar, konferenca DSI 2023, Portorož, 5. 5. 2023 (1)
5. Martin Mihajlov, 3rd Management Committee meeting and Opening Conference for COST Action CA21107, Nikozija, Ciper, 5.–8. 9. 2023
6. Andrej Jerman Blažič, Martin Mihajlov, sestanek in delavnica v okviru projekta DIGIBLEND, Beograd, Srbija, 18.–20. 9. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Ramanpreet Kaur, PhD., Indija
2. doc. dr. Rok Bojanc*
3. prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič, znanstveni svetnik
4. dr. Dušan Gabrijelčič
5. **doc. dr. Tomaž Klobučar, vodja sam. laboratorija**
6. dr. Martin Mihajlov
7. dr. Tanja Pavleska
8. dr. Samed Bajrić

Podoktorski sodelavci

9. dr. Primož Cigoj*

10. dr. Andrej Jerman Blažič

Mlajši raziskovalci

11. Jan Kincl, inženyr, R. Češka

Strokovni sodelavci

12. Davud Topalović, BSc., BIH

Tehniški in administrativni sodelavci

13. Tatjana Martun, dipl. ekon.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Amibit, Slovenija
2. ATOS, Španija
3. Elektro Celje, Slovenija
4. Elektro Celje Energija, Slovenija
5. ELES, Slovenija
6. ENGIE Ineo, Francija
7. Engineering, Italija
8. Fraunhofer FIT, Nemčija
9. Hellenic Foundation for European and Foreign Policy, ELIEP/ELIAMEP, Grčija
10. Inštitut za korporativne varnostne študije, Slovenija
11. ICTU, Nizozemska
12. INESC-ID, Portugalska
13. INTRACOM SA, Grčija
14. IT-Forum, Danska
15. Masarykova univerza, Brno, Češka republika
16. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Slovenija
17. Ministrstvo za javno upravo RS
18. Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS
19. Nuve APS, Danska
20. ODT-e, Francija
21. Raziskovalni inštitut CODE, Nemčija
22. Rhenisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Nemčija
23. Siemens SRL, Romunija
24. Smart Com, Slovenija
25. Thales, Francija
26. Universidade Catolica Portuguesa, Portugalska
27. Universitat Jaume I, Španija
28. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija
29. University of Latvia, Latvija
30. Univerza Middlesex, London, Velika Britanija
31. Univerza sv. Cirila in Metoda, Skopje, Severna Makedonija
32. Univerza v Ljubljani
33. Univerza v Mariboru
34. Univerza v Stockholmu, Švedska
35. VTT, Finska

Osnovne dejavnosti Odseka za komunikacijske sisteme obsegajo raziskovanje, načrtovanje in razvoj heterogenih komunikacijskih, računalniških in senzorskih omrežij, brezžičnih tehnologij in komunikacijskih storitev naslednje generacije; zasnovo novih postopkov za vzporedno in porazdeljeno reševanje računske intenzivnih problemov na raznolikih visokozmogljivih računalniških arhitekturah in časovno občutljivih problemov v robnih napravah; ter integracijo senzorskih, komunikacijskih, računalniških in podatkovnih tehnologij v podporo digitalizaciji in pametnim infrastrukturam. V okviru teh dejavnosti razvijamo in proučujemo nove metode in arhitekture, programska orodja in knjižnice, pilotske postavitve in eksperimentalna okolja.



Vodja:

prof. dr. Mihael Mohorčič

Raziskovalno in razvojno delo na odseku poteka v okviru *Laboratorija za komunikacijske tehnologije (LKT)*, *Laboratorija za vzporedne in porazdeljene sisteme (LVPS)* in *Laboratorija za omrežene vgrajene sisteme (LOVS)*. Raziskovalno delo laboratorijev se vsebinsko dopolnjuje, kar se izraža predvsem pri izvajanju aplikativnih projektov.

Leta 2023 se je *Laboratorij za komunikacijske tehnologije* osredotočil na segment dostopa do brezžičnih komunikacijskih omrežij v prizemnih in satelitskih komunikacijah ter na upravljanje radijskih in omrežnih virov v mobilnih celičnih sistemih. Raziskave so del raziskovalnega programa *Komunikacijska omrežja in storitve* (P2-0016) in treh raziskovalnih projektov: J2-2507 *Z upoštevanjem informacij o okolju proti inteligentnim brezžičnim komunikacijam*, J2-3048 *Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brezomrežnimi metodami* in J2-4461 *Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnjih 6G komunikacijskih sistemih*. Poleg tega smo nadaljevali z vzdrževanjem in izboljševanjem testnega okolja z novimi funkcijami.

Uvajanje inteligence v komunikacijska omrežja je bilo pomemben del raziskovalnih dejavnosti *Laboratorija za komunikacijske tehnologije* v tem letu. Komunikacijska omrežja danes omogočajo interakcijo med ljudmi, pametnimi napravami in dostop do različnih storitev. Tako kot v uporabniške naprave se metode umetne inteligence uvajajo tudi v komunikacijska omrežja, zlasti brezžična. Ukrepe v inteligentnih brezžičnih omrežjih je treba izvajati na podlagi izkušenj in rezultatov prejšnjih ukrepov ter najnovejših informacij o stanju brezžičnega okolja. Naše raziskave so omejene na naloge, povezane s fizično plastjo, zlasti na podporo okoljskih informacij za ocenjevanje in napovedovanje informacij o stanju kanala (CSI), s poudarkom na notranjih brezžičnih komunikacijah. V tem okviru smo razvili novo metodo, ki omogoča napovedovanje značilnosti brezžičnega kanala v obsegu, ki presega dosedanje možnosti, tako da izkorišča prednosti okoljskih informacij, izmerjenega CSI in informacij o brezžičnih vozliščih. Na podlagi pregleda sistemskih zahtev okoljsko ozaveščenih inteligentnih brezžičnih omrežij smo razvili arhitekturo sistema, ki uporablja modelske in podatkovne pristope za napovedovanje CSI na podlagi okoljskih informacij in ocen CSI iz učnih simbolov. Predlagali in ovrednotili smo nove napredne metode, algoritme in pristope, ki omogočajo inteligentno in okolju prijazno (za naravo in ljudi) uporabo radijskih virov ob upoštevanju okoljskih informacij za komunikacijo v zaprtih prostorih. Poudarek je na algoritmih za lokalizacijo radijskih vozlišč, klasifikaciji radijskega okolja z uporabo izmerjenega CSI in obsežnih podatkovnih baz meritev ter algoritmih, ki dopolnjujejo CSI in okoljske informacije. Predlagani koncept smo preizkusili na testnem omrežju Log-A-Tec z uporabo radijske tehnologije UWB in predlagano rešitev ocenili z vidika energetske učinkovitosti, prijaznosti do okolja in inteligence v resničnem okolju. Z dopolnitvijo ocene CSI iz učnih simbolov z okoljskimi informacijami smo izboljšali natančnost napovedovanja CSI in posledično povečali neto zmogljivost komunikacijske povezave, zmanjšali porabo energije in posledično zmanjšali izpostavljenost ljudi neioniziranim elektromagnetnim valovom. Poleg tega klasifikacija radijskega okolja, ki temelji na podatkih, skrajša čas za ocenjevanje CSI in prispeva k doseganju cilja omrežij prihodnosti. Ta raziskava je predmet temeljnega raziskovalnega projekta J2-2507.

Na področju modeliranja brezžičnih kanalov smo nadaljevali delo, ki smo ga začeli v prejšnjih letih, in se ukvarjali z determinističnim modeliranjem kanalov v prizemnih komunikacijskih sistemih, zlasti za notranja okolja, ter statističnim modeliranjem kanalov v satelitskih komunikacijskih sistemih. Med determinističnimi modeli kanalov se najpogosteje uporablja sledenje žarkom, vendar elektromagnetne lastnosti odbojnih površin na splošno niso znane, zato je treba modele sledenja žarkom umeriti z meritvami kanalov. V zvezi s tem smo razvili naprave za ocenjevanje CSI, ki lahko poleg ocenjevanja impulznega odziva kanala (CIR) izmerijo tudi kot prihoda radijskega signala (AoA). Osredotočili smo se na frekvenčni pas 2,4 GHz, vendar se lahko koncepti, predlagani v tem delu,

uporabijo tudi za višje frekvenčne pasove. Razvite naprave so bile uporabljene za zbiranje nizov podatkov v različnih notranjih okoljih. Poleg tega so bile meritve radarskega kanala opravljene v križišču strnjenegega naselja z uporabo frekvenčno modularnega merilnega sistema za neprekinjeno valovanje v frekvenčnem pasu 77 GHz. Meritve so bile uporabljene za umerjanje orodij za sledenje žarkov, ki omogočajo zanesljivo virtualno testiranje programske opreme in strojne opreme v zanki pri zasnovah brezžičnih komunikacijskih sistemov.

Metoda sledenja žarkom modelira le del znanih mehanizmov širjenja radijskih valov in v sedanjih obliki ne zagotavlja ustreznih modelov radijskih kanalov za komunikacije naslednje generacije. Zmanjšanje dejanskega geografskega območja radijskih celic in povečanje računalniške moči sta odprla možnost numeričnega reševanja temeljnih Maxwellovih enačb. Take tehnike za modeliranje telekomunikacijskih kanalov v kompleksnih okoljih smo raziskovali v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J2-3048. Ker so klasične metode v milimetrskih in teraherčnih frekvenčnih pasovih računsko prezahtevne, smo se v letu 2023 osredotočili na kvantne algoritme za modeliranje širjenja elektromagnetnega valovanja. S pregledom nedavnih predlogov na tem področju smo proučili trenutni napredek. Podrobno smo si ogledali potencialno ugodne kvantne arhitekture, ki segajo od univerzalnih kvantnih računalnikov na osnovi kvantnih vrat in kratkoročnih, srednje velikih, šumnih arhitektur z omejenimi zmogljivostmi do adiabatskih pristopov in pristopov ohlajanja, ki se že komercialno uporabljajo. Analizirali smo slabosti in prednosti objavljenih predlogov. Ugotovili smo, da lahko kvantni računalniki premostijo časovne in prostorske omejitve klasičnih metod za večja računska področja ter do neke mere rešijo težave z razpršenostjo in stabilnostjo pri numeričnih metodah na osnovi končnih razlik. Opredelili smo tudi najbolj obetavne tehnike in scenarije, ki imajo največji potencial.

Prihodnje brezžične storitve bodo pogosto zahtevale zaznavanje okolja kot del funkcionalnosti aplikacije. Zato je v sistemih 6G predviden soobstoje komunikacije, zaznavanja in lokalizacije. V tem kontekstu smo raziskali parametre kanala razširjanja in uporabnost THz elektromagnetnih valov za integrirano komunikacijo in zaznavanje ter proučili nove izzive in razlike, ki se pojavijo, če izhajamo iz sistemov, ki delujejo na frekvencah pod frekvenčnimi pasovi THz, in sicer velike izgube poti zaradi majhne valovne dolžine in manjše odprtine antene, večjega Ricianovega faktorja K, zmanjšanja razširjanja zakasnitve RMS, ki se povečuje z razdaljo med oddajnikom in sprejemnikom, in praznostjo kanala v kotni domeni. Raziskava je bila izvedena v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J2-4461 *Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnjih 6G komunikacijskih sistemih*.

Nadaljevali smo tudi raziskave interneta stvari (IoT), pri čemer smo se osredotočili na lokalizacijo in oceno lege v prostoru. Razvili smo dve novi metodi določanja razdalje iz faze sprejetega signala za brezžične tehnologije

Razvili smo ocenjevanje razdalje iz opazovane faze signala pri komunikacijski tehnologiji, TSCH standarda IEEE 802.15.4.



Slika 1: Eksperiment za izračun lokacije in napake iz AoA s komunikacijsko tehnologijo IEEE 802.15.4 TSCH

na podlagi standarda 6TiSCH (IPv6 over TSCH mode of IEEE 802.15.4e). Predlog izboljšuje znane algoritme z zmanjšanjem števila zahtevanih faznih vzorcev, ne da bi se zmanjšala natančnost in občutljivost algoritma, hkrati pa povečuje energetske učinkovitost. Zasnovali smo tudi enotno krožno antensko polje z 12 enopolnimi antenami in RF stikali za izbiro aktivne antene za ocenjevanje smeri prihoda (DoA) signala za sisteme Bluetooth Low Energy (BLE). Sistem smo preizkusili v delno nadzorovanem okolju in dosegli napako pri ocenjevanju smeri prihoda, ki je bila manjša od 1 stopinje. Eksperimentalno testno okolje smo razširili s funkcijami, ki podpirajo eksperimente s tehnologijo BLE.

Predlagali smo nevsiljiv pristop za spremljanje prisotnosti, ki ohranja zasebnost in temelji na brezžični tehnologiji WiFi. Metoda omogoča spremljanje prisotnosti in gibanja posameznikov ali množic na določenem območju in tako lahko zagotovi dragocen vpogled v dejanske vedenjske vzorce in trende. Metoda ohranja zasebnost posameznika z novo tehniko derandomizacije, ki odkriva posamezne naprave z združevanjem podobnih sporočil o upravljanju omrežja in ustreznih značilnosti radijskega kanala z uporabo nove metode združevanja v grozde in ujemanja. Rezultati kažejo, da lahko predlagana metoda derandomizacije pravilno zazna več kot 96 % naprav v podeželskih in notranjih okoljih.

Na področju obdelave signalov smo nadaljevali z obsežnimi statističnimi analizami signalov, pridobljenih s triletnimi meritvami s satelita Alphasat na frekvencah 19,7 GHz in 39,4 GHz. Analizirali smo presih signala zaradi migljanja v troposferi in ga primerjali s standardiziranim modelom ITU-R P.618-13.

Laboratorij je tudi nadaljeval s sodelovanjem v več delovnih skupinah akcije COST CA 20210 INTERACT *Intelligence-enabling radio communications for seamless inclusive interactions*. Cilj akcije je doseči znanstveni preboj z uvedbo novih metod načrtovanja in analize, da bi prihodnja radijska komunikacijska omrežja postala inteligentna, tj. ozaveščena, prilagodljiva in varčna, ter prispevati k ustvarjanju inteligentnih okolij.

V Laboratoriju za vzporedno in porazdeljeno računanje smo nadaljevali z razvojem lokalnih brez mrežnih metod za numerično reševanje sistemov parcialnih diferencialnih enačb (PDE).

V letu 2023 smo eksperimentalno preizkusili lastni hp-adaptivni rešitveni postopek, ki temelji na iterativni rešitveni-označi-izboljšaj paradigmi. Izsledke analiz smo objavili v članku *Strong form mesh-free hp-adaptive solution of linear elasticity problem* v ugledni reviji *Engineering with computers*.

Nadaljevali smo z raziskavami na našem hierarhičnem algoritmu za brez mrežno diskretizacijo CAD (computer-aided design) modelov, pri čemer smo dokazali, da množice vozlišč, generirane z našim algoritmom, izpolnjujejo zahteve glede lokalne regularnosti. Poleg tega smo uvedli hibridni algoritem za generiranje pravih in razpršenih vozlišč, s čimer smo izboljšali računsko učinkovitost brez mrežne aproksimacije. Množice generiranih vozlišč smo tudi uporabili v kombinaciji z metodo končnih diferenc, generiranih z radialnimi baznimi funkcijami (Radial Basis Function generated Finite Differences (RBF-FD) method), s čimer smo rešili več različnih problemov, kot so Poissonova enačba, Navier-Stokesova enačba in Navier-Cauchyeva enačba.

Nadaljevali smo z raziskovanjem v preteklem letu opaženega oscilatornega obnašanja napake metode RBF-FD pri večanju podporne domene. Naše analize smo razširili in preiskali še več različnih konfiguracij problema ter opazili, da je nihanje napake še vedno opazno. Še več – v novih konfiguracijah nam je spet uspelo nihanje povezati s krajevno odvisno napako aproksimacije, ki ni trivialna. Posvetili smo se tudi raziskovanju uporabne vrednosti opaženega, kjer smo začeli z obravnavo bolj realističnega problema.

Raziskali smo uporabo stabilizacije s hiperviskoznostjo pri reševanju problema naravne konvekcije, pri čemer smo se osredotočili na njene učinke, ko tok preide v turbulentni režim. Hiperviskoznost smo uvedli kot Laplaceov operator višjega reda, kar pomaga stabilizirati numerično shemo, ne da bi to bistveno vplivalo na natančnost rešitve.

Na področju simulacij strjevanja smo razvili h-prilagodljiv brez mrežni rešitveni postopek za simulacijo rasti kristalnih zrn, kjer je ovojnica dendrita opredeljena kot premikajoča se meja domene in je tako ostro določena.

Razvili smo prilagodljiv brez mrežni rešitveni postopek za simulacijo rasti kristalnih zrn, kjer je ovojnica dendrita opredeljena kot premikajoča se meja domene in je tako ostro določena.

V letu 2023 smo v reviji *Nature Scientific Reports* objavili članek z naslovom *Okolje za primerjalno študijo podatkovnih baz in računskih metod za odkrivanje aritmij iz enokanalnega EKG-ja*. Članek predstavlja ECGDL: odprtokodno, prilagodljivo in konfigurabilno kodo za klasifikacijo EKG-jev. Študija vključuje 9 naborov podatkov o aritmijah, ki pokrivajo veliko število tako morfoloških kot ritmičnih aritmij, pa tudi 4 globoke nevronske mreže, 4 tehnike segmentacije in 4 evalvacijske sheme. Izvedli smo primerjalno analizo med temi komponentami, da bi zagotovili celovit pogled na klasifikacijo aritmij.

Nadaljevali smo sodelovanje z Geološkim zavodom Slovenije in Oddelkom za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani na temeljnem raziskovalnem projektu ARRS J1-2479 *Pretekle podnebne spremembe in poledenitev na stičišču Alp in Dinaridov*. Eden od ciljev projekta je modeliranje ledenika, njegove podlage in podnebja z dovoljšnjo natančnostjo za zagotovitev dobrega ujemanja med simuliranim in empirično določenim obsegom ledenika. Pri analizi razpoložljivih modelov smo ugotovili, da je vpliv podlage za red velikosti manjši od vpliva podnebja na naših izbranih geografskih območjih. Zato smo svoja prizadevanja preusmerili v dokončanje lokalnih klimatoloških modelov, da bi izboljšali natančnost rezultatov simulacij.

Nadaljevali smo naše delo na ARRS-projektu J7-2599 *Vpliv razpada masovne populacije invazivne rebrače na mikrobno združbo obalnega morja – od molekul do ekosistema – celosten interdisciplinarni pristop*. V letu 2023 smo dopolnili naše delo na novem populacijskem modelu in zaključke strnili v članek z naslovom *Dynamic Population Modeling of Bacterioplankton Community Response to Gelatinous Marine Zooplankton Bloom Collapse and its Impact on Marine Nutrient Balance*, ki je v recenziji v reviji *Progress in Oceanography*.

V sodelovanju s Fakulteto za elektrotehniko (FE) in z Laboratorijem za komunikacijske tehnologije smo nadaljevali raziskovalno delo v sklopu projekta J2-3048 *Advanced modelling of radio channels using ray-optical and numerical meshless methods*. Vpeljali smo brez mrežno posplošitev znane metode končnih diferenc v časovni domeni (angl. Finite Difference Time Domain (FDTD)). Pri tem smo uporabili metodo končnih diferenc, generiranih z radialnimi baznimi funkcijami (angl. Radial Basis Function generated Finite Differences (RBF-FD)). Preverili smo, da se naša posplošitev res prevede na metodo FDTD v enostavnem primeru diskretizacije z mrežo. Podrobneje smo raziskali stabilnostne in disperzijske lastnosti vpeljane metode.

V sodelovanju s Fakulteto za šport in Laboratorijem za strojno inteligenco na Fakulteti za elektrotehniko smo nadaljevali delo pri projektu J3-3115 *AiCoachU – Vadba z umetno inteligenco*. V sklepni fazi projekta smo podpirali partnerje ter izboljševali in prilagajali razvito programsko opremo.

V sodelovanju s Fakulteto za računalništvo in informatiko (FRI), InnoRenew (SI) in Inštitutom za matematiko Alfréd Rényi (HU) smo zaključili projekt N2-0171 *Teorija grafov in kombinatorično znanstveno računanje*. V okviru projekta smo dodatno razvili algoritem za iskanje k-klik v k-partitnih grafih, katerega prototip smo vnesli v programsko okolje za določanje vezavnih mest proteinov, ki se uporablja na Kemijskem inštitutu. Okolje smo



Slika 2: Koncept učinkovite izrabe transformatorjev z uporabo tehnologije DTR (levo) in shema večmasnega fizikalnega modela (desno)

uporabili tudi pri udeležbi na tekmovanju v reševanju težkih kombinatoričnih problemov, kjer nam je uspelo rešiti vse zastavljene probleme.

V sodelovanju z oddelkom F1 in Laboratorijem za komunikacijske tehnologije smo nadaljevali delo na ciljnem raziskovalnem projektu V1-2119 *Kriptografsko varen generator naključnih števil*. Razvili smo testno aplikacijo, ki generira naključna števila iz strojnih senzorjev v operacijskih sistemih Android in iOS. Z aplikacijo smo zbrali podatke iz več kot dvajsetih različnih sodobnih pametnih telefonov, ki smo jih pozneje analizirali, da bi določili količino šuma v surovih meritvah. Tako aplikacija kot rezultati analize so bili predstavljeni na delavnici, ki jo je organiziral projekt.

V sodelovanju z Univerzo v Wrocławu smo nadaljevali projekt N2-0275 *Inercijski učinki na tok tekočine v kompleksnih poroznih medijih*. Razvili smo dva različna brez mrežna pristopa za reševanje problema toka tekočin, in sicer brez mrežno Lattice-Boltzmann metodo (LBM) ter neposredno reševanje Navier-Stokesove enačbe na podlagi metode RBF-FD. Oba pristopa smo primerjali in verificirali na geometriji periodičnih prekrivajočih sfer, ki jo uporabljamo za primerjavo z referenčno rešitvijo.

Na področju aplikativnih raziskav smo nadaljevali z razvojem DiTeR – modularne programske opreme za dinamično ocenjevanje toplotnega stanja (DTR), namenjene napovedi toplotnega stanja električnih daljnovodov, ki se operativno uporabljajo v družbi ELES, d. o. o., po vsem svetu pa jo trži podjetje Operato. V letu 2023 smo nadaljevali vzdrževanje sistema in izvedli pilotno namestitev sistema za več tujih operaterjev. Po naročilu podjetja Operato smo začeli tudi temeljito prenavljati sistem.

V sklopu pilotnega projekta za nemškega prenosnega operaterja TransnetBW smo izvedli analizo vremenskih podatkov in oceno dinamičnega termičnega stanja na podlagi osmih let vremenskih in obratovalnih podatkov, s čimer smo jim pomagali pri razumevanju njihovega sistema in potencialni uporabi dinamičnega termičnega ocenjevanja.

V letu 2023 smo začeli izvajati projekt, ki se ukvarja s transformacijo mezoskopskih meteoroloških spremenljivk na višjo ločljivost, na način, ki je neodvisen od osnovnega mezoskopskega modela. Namen tega projekta je podpora našim drugim DTR projektom z meteorološkimi podatki za specifične lokacije, ob upoštevanju lokalnega terena, kar je ključnega pomena za DTR.

V letu 2023 smo uspešno zaključili projekt TRAFOFLEX, v katerem smo v sodelovanju z Elektrotehničnim inštitutom Milan Vidmar, podjetjem Elektro Gorenjska in hčerinskim podjetjem slovenskega prenosnega operaterja Operato razvili, implementirali in validirali model za opis termičnega stanja energetskih transformatorjev, ki od zaključka projekta poteka v operativni rabi.

Raziskave v **Laboratoriju za omrežne vgrajene sisteme** so usmerjene v digitalizacijo pametnih infrastruktur z namenom izboljšanja njihove dostopnosti, uporabnosti in učinkovitosti rabe virov. Pri tem nadgrajujemo obstoječa znanja ter rešitve obdelave signalov in modeliranja časovnih vrst z vidika odločanja z uporabo različnih tehnik umetne inteligence, kot so predstavitevno učenje, globoko učenje, gručenje in razvrščanje.

V okviru raziskovalnega programa Komunikacijska omrežja in storitve (P2-0016) smo nadaljevali s proučevanjem in prilagajanjem metod strojnega in globokega učenja za napredno upravljanje radijskih virov na podlagi podatkovno vodenega pristopa. Poleg tega smo raziskali vidike porabe energije, učinkovitosti in avtomatizacije obdelave podatkov v čakalnih vrstah ter za razvoj modela v mobilnih sistemih 5G. V tem oziru smo najprej opredelili dva glavna izziva v življenjskem ciklu pametnih infrastruktur, uvedbo in obratovanje, ki se lahko posplošita na vse z IKT podprte infrastrukture. Nadaljevali smo delo na odkrivanju in prepoznavanju anomalij v brezžičnih omrežjih, kot del njihovega delovanja v obsežnih sistemih IoT, kot so pametne tovarne in mesta, s poudarkom na razvoju novih metod, ki jih je navdihnil napredek na področju strojnega vida in grafovskih nevronske mreže. Poleg tega smo razvili nove metode za prepoznavanje aktivnosti v radijskem spektru iz velikih količin neoznačenih meritev s pomočjo učenja značilnosti in tehnik samonadzorovanega učenja. Raziskali smo tudi vlogo avtomatizacije uvažanja in samodejnega sprejemanja odločitev prek človeku prijaznih pogovornih agentov, brezstične začetne namestitve in konfiguracije, instanciranja in skaliranja računskih virov v računsko omejenih okoljih v smeri O-RAN in učenja z okrepitvijo.

Poleg dela na raziskovalnem programu smo v letu 2023 uspešno zaključili projekt Obzorja 2020 BD4OPEM, nadaljevali raziskovalno delo pri projektu Obzorja Evropa MSCA TimeSmart ter začeli z novimi projekti Obzorja Evropa NANCY, Programa Digitalne Evrope SiQUID ter ARIS projektov TIMIN6 in AI-ASSIST.

V zadnjem letu projekta BD4OPEM (Big Data for Open innovation Energy Marketplace) smo svoje aktivnosti zaključili s polno integracijo naših podatkovno vodenih storitev za simulacije motenj v omrežju, združevanje fleksibilnosti, upravljanje z energijo na ravni gospodinjstva/skupnosti in oceno povpraševanja v tržnico energetske storitev, zasnovano v okviru projekta, pa tudi s pripravo demonstratorja razvitih storitev. Te storitve podpirajo učinkovito in samodejno upravljanje porazdeljenih obnovljivih virov energije in bremen za premik ali zmanjšanje konične porabe energije ter nihanj v prenosnem in distribucijskem omrežju kot tudi optimizacijo porabe energije glede na nihajoče tarife za električno energijo.

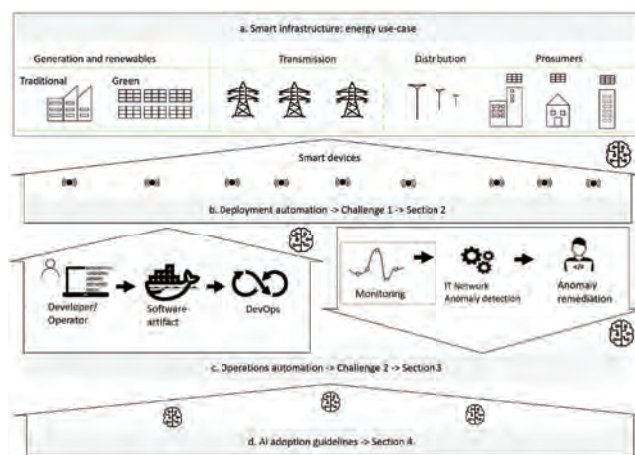
Pri projektu TimeSmart (Timeliness of Information in Smart Grids Networks) smo se v letu 2023 osredotočili na uporabo metrike starosti informacij v pametnih energetskih omrežjih za izboljšanje kratkoročnega napovedovanja energije. Metrika starosti informacije, ki meri svežino podatkov v komunikacijskih omrežjih, je bila ocenjena glede na njen potencial za izboljšanje kratkoročnega napovedovanja zmogljivosti pametnih energetskih omrežjih. Vzporedno smo raziskovali tudi vpliv dinamičnih sprememb cen električne energije s poudarkom na tem, kako lahko različne cenovne strategije električne energije pomagajo pametnim domovom učinkoviteje upravljati porabo in proizvodnjo električne energije.

V letu 2023 smo začeli izvajati nov projekt SiQUID (Slovenian Quantum Communication Infrastructure Demonstration), ki je slovenski del iniciative Evropske unije za vzpostavitev vseevropske infrastrukture za kvantne komunikacije. Cilj projekta SiQUID je potrditev zasnove z demonstracijo kvantne komunikacije in kvantne porazdelitve ključev (QKD) na podlagi kvantne prepletenosti. Projekt bo vzpostavil povezave za QKD med več vladnimi vozlišči v Sloveniji in eksperimentalno testno kvantno omrežje med raziskovalnimi institucijami v Ljubljani za raziskave in razvoj naprednih kvantnih komunikacijskih protokolov. V letu 2023 smo predvsem prispevali pri načrtovanju arhitekture sistema in določitvi omrežne topologije, pri čemer smo upoštevali tudi vpliv izbranega osnovnega principa sistema QKD in ustreznost obstoječih protokolov za QKD.

Januarja 2023 smo tudi začeli izvajati projekt HE NANCY (An Artificial Intelligent Aided Unified Network for Secure Beyond 5G Long Term Evolution). Glavni cilj projekta je uvedba varne in inteligentne arhitekture za brezžična omrežja naslednje generacije (B5G). Z izkoriščanjem umetne inteligence (AI) in tehnologije veriženja blokov projekt NANCY omogoča varno in inteligentno upravljanje virov, prilagodljivo mreženje in orkestracijo. V tej smeri bodo zasnovane nove arhitekture, kot so povezljivost točka-točka (P2P) za neposredno povezovanje dveh naprav, mrežno povezovanje, posredovalne komunikacije ter zasnova protokolov za dostop do medija, upravljanje z mobilnostjo in razporejanje virov. Naša vloga v projektu obsega predvsem vodenje delovnega sklopa, ki se osredotoča na orkestracijo in inteligenco, podprto z umetno inteligenco, ter na delovno aktivnost na področju elastične rabe virov.

Oktober 2023 smo začeli izvajati tudi dva nacionalna projekta, ki ju sofinancira ARIS, temeljni raziskovalni projekt TIMIN6 (Timely and Sustainable Information Management in 6G Networks) in aplikativni projekt L2-50053 AI-ASSIST (Artificial intelligence based real-time power system stability assessment). V prvih treh mesecih izvajanja projektov smo se pri projektu TIMIN6 osredotočili na pripravo okvira za metriko, ki bo kvantitativno opredelila vzdržnost generiranja podatkov v prihodnjih omrežjih (6G) z uporabo koncepta starosti informacij (angl. Age of Information), pri projektu AI-ASSIST pa na potrebe po podatkih za spremljanje stabilnosti elektroenergetskega sistema s pomočjo metod umetne inteligence.

Razvili smo nove metode za zaznavanje in identifikacijo aktivnosti ter napak/anomalij iz časovnih podatkovnih vrst.



Slika 3: Pametne infrastrukture: Avtomatizacija življenjskega cikla z uporabo umetne inteligence

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Novak, Roman, Quantum algorithms in electromagnetic propagation modelling for telecommunications, *IEEE access*, 2023, **11**, 111545-111565, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3322446
2. Kocavska, Teodora, Javornik, Tomaž, Švigelj, Aleš, Rashkovska, Aleksandra, Hrovat, Andrej, Identification of indoor radio environment properties from channel impulse response with machine learning models, *Electronics*, 2023, **12**, 2746, DOI: doi.org/10.3390/electronics12122746

3. Merdjanovska, Elena, Rashkovska, Aleksandra, A framework for comparative study of databases and computational methods for arrhythmia detection from single-lead ECG, *Scientific reports*, 2023, 13, 11682
4. Bertalancič, Blaž, Meža, Marko, Fortuna, Carolina, Resource-aware time series imaging classification for wireless link layer anomalies, *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 2023, 34, 10, 8031-8043, DOI: 10.1109/TNNLS.2022.3149091
5. Fortuna, Carolina, Yetgin, Halil, Mohorčič, Mihael, Smart infrastructures: artificial intelligence-enabled lifecycle automation, *IEEE industrial electronics magazine*, 2023, 17, 2, 37-47, DOI: 10.1109/MIE.2022.3165673
6. Miloskeski, Ljupcho, Cerar, Gregor, Bertalancič, Blaž, Fortuna, Carolina, Mohorčič, Mihael, Self-supervised learning for clustering of wireless spectrum activity, *Computer Communications*, 2023, 212, 353-365, DOI: 10.1016/j.comcom.2023.10.009

Patent

1. Luiz A. DaSilva, Jernej Hribar, Method and system for energy aware scheduling for sensors, US 11,762,446 B2, US Patent Office, 19. 9. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Analiza dinamičnega termičnega ocenjevanja daljnovidnih vodnikov
TransnetBW GmbH
dr. Gregor Kosec
2. COST CA18203; ODIN - Optimizacija načrtovanja za preverjanje
COST Association AISBL
dr. Gregor Kosec
3. COST CA20120; INTERACT - Omogočanje inteligentnih radijskih komunikacij za vseobsežne interakcije brez zaznavanja prekinitvev
COST Association AISBL
prof. dr. Tomaž Javornik
4. H2020 - BD4OPEM; Masovni podatki za tržnico energetskih aplikacij na podlagi odprtih inovacij
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič
5. Lokalizacija v zaprtih prostorih podprta s strojnimi učenjem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Klemen Bregar
6. OE - NANCY; Dolgoročni razvoj in pametno upravljanje 5G LTE mobilnih omrežij s pomočjo umetne inteligence
European Commission
dr. Carolina Fortuna
7. EIT Climate-KIC; UP SCALE - Pionirji Urbanizma - Sistemske spremembe v urbanem okolju
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
prof. dr. Andrej Hrovat
8. OE - TimeSmart; Pravočasnost informacij v pametnih energetskih omrežjih
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič
9. DIGITAL EU; SiQUID - Vzpostavitev slovenske infrastrukture za kvantne komunikacije
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič

3. Teorija grafov in kombinatorično znanstveno računalništvo
dr. Matjaž Depolli
4. AiCoachU - Vadbica z umetno inteligenco
dr. Gregor Kosec
5. Z upoštevanjem informacij o okolju proti inteligentnim brezžičnim komunikacijam
prof. dr. Aleš Švigelj
6. Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brezžičnimi metodami
prof. dr. Tomaž Javornik
7. Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnji 6G komunikacijskih sistemih
prof. dr. Andrej Hrovat
8. Inercijski učinki na tok tekočine v kompleksnih poroznih medijih
dr. Gregor Kosec
9. Pravočasno in vzdržno upravljanje z informacijami v omrežjih 6G (TIMIN6)
prof. dr. Mihael Mohorčič
10. Sprotno ocenjevanje stabilnosti elektroenergetskega sistema na osnovi umetne inteligence (AI-ASSIST)
prof. dr. Mihael Mohorčič
11. Kriptografsko varen generator naključnih števil
dr. Matjaž Depolli
12. Pogodba o sofinanciranju projekta SiQUID
Ministrstvo za javno upravo
prof. dr. Mihael Mohorčič
13. NOO-DIGITOP; Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti
prof. dr. Mihael Mohorčič
14. Sporazum o sodelovanju pri razvoju in trženju dinamičnega termičnega modela za ocenjevanje prenosne zmogljivosti daljnovodov
Elektroinštitut Milan Vidmar
dr. Gregor Kosec
15. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
dr. Matjaž Depolli
16. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
dr. Matjaž Depolli

PROGRAMA

1. Komunikacijska omrežja in storitve
prof. dr. Mihael Mohorčič
2. Vzpostavljeni in porazdeljeni sistemi
dr. Gregor Kosec

PROJEKTI

1. Pretekle podnebne spremembe in poledenitev na stičišču Alp in Dinaridov
dr. Gregor Kosec
2. Vpliv razpada masovne populacije invazivne rebrče na mikrobovo združbo obalnega morja - od molekul do ekosistema - celosten interdisciplinarni pristop
dr. Gregor Kosec

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Razvojno raziskovalna storitev za projekt TRAFOFLEX
Operato, d. o. o.
dr. Gregor Kosec
2. Prototipna implementacija mikroskalnega meteorološkega modela
Operato, d. o. o.
dr. Gregor Kosec

OBISKI

1. Hongyu Duan, State Key Lab of Rail Traffic Control & Safety, Univerza Beijing Jiaotong, Peking, Kitajska, 30. 9.–12. 10. 2023
2. Wu Qiang, prof. dr. Guan Ke in Fan Lei, Univerza Beijing Jiaotong, Peking, Kitajska, 22.–24. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Klemen Bregar: Advanced Indoor Positioning Techniques, 20. 1. 2023
2. Blaž Bertalančič: Feature expansion techniques for time series classification, 1. 3. 2023
3. Teodora Kocavska: CSI-based identification of indoor radio environment properties by applying machine learning approaches, 5. 4. 2023
4. Filip Strniša: Mathematical modelling of the microbiological degradation of invasive jellyfish species, 3. 5. 2023
5. dr. Jernej Hribar: Age of information in smart grids, 7. 6. 2023
6. Grega Morano: Joint Communication and Sensing Approach in TSCN Network, 5. 4. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Andrej Čampa, udeležba na plenarnem sestanku projekta BD4OPEM EU, 16.–18. 1. 2023, Istanbul, Turčija (1)
2. Gregor Kosec, Konferenca ATMA2023, 17.–19. 1. 2023, Padova, Italija (1)
3. Aleš Simončič, Andrej Hrovat, Grega Morano, Tomaž Javornik, COST CA 20210 INTERACT, 23.–26. 1. 2023, Dubrovnik, Hrvaška (4)
4. Blaž Bertalančič, Carolina Fortuna, Kick-off meeting HE NANCY, 1.–4. 2. 2023, Thessaloniki, Grčija (2)
5. Jernej Hribar, konferenca ICAART, 21.–26. 2. 2023, Lizbona, Portugalska (1)
6. Gregor Kosec, konferenca SIAM CSE 2023, 25. 2.–3. 3. 2023, Amsterdam, Nizozemska (1)
7. Andrej Hrovat, Tomaž Javornik, sestanek projekta J2-4461, 9. 3. 2023, Gradec, Avstrija (2)
8. Blaž Bertalančič, konferenca IEEE WCNC 2023, 25.–30. 3. 2023, Glasgow, Združeno kraljestvo (1)
9. Arsim Kelmendi, 17th European Conference on Antennas and Propagation, 26.–31. 3. 2023, Firence, Italija (1)
10. Blaž Bertalančič, konferenca INFOCOM – IEEE 2023, 15.–25. 5. 2023, New York, ZDA (1)
11. Filip Strniša, Matjaž Depolli, MIPRO 2023 – 46th Convention, 25. 5. 2023, Opatija, Hrvaška (2)
12. Denis Sodin, 16. konferenca slovenskih elektroenergetikov; CIGRE-CIRED, 30. 5.–1. 6. 2023, Bled, Slovenija (1)
13. Aleš Švigelj, ocenjevalec študentskih člankov za IKT na 15. MPŠ študentski konferenci (IPSSC 2023), 1. 6. 2023, Mokinje, Slovenija (1)
14. Polona Anžur, finančno načrtovanje in vodenje projektov programa Obzorje Evropa, 2. 6. 2023, Izola, Slovenija (1)
15. Gregor Cerar, Blaž Bertalančič, Mihael Mohorčič, Carolina Fortuna, Ljupcho Milosheski, konferenca BalkanCom 2023, 5.–8. 6. 2023, Istanbul, Turčija (5)
16. Miha Rot, delovni obisk projekta NCN N2-0275 in delavnica, 14.–24. 6. 2023, Wrocław, Poljska (1)
17. Blaž Bertalančič, konferenca MobiSys, 17.–23. 6. 2023, Helsinki, Finska (1)
18. Mihael Mohorčič, WiMob 2023 konferenca, 19. 6.–2. 7. 2023, Montreal, Kanada (2)
19. Andrej Kolar Požun, konferenca SpliTech 2023, 19.–24. 6. 2023, Bol, Brač, Hrvaška (1)
20. Grega Morano, Aleš Simončič, IEEE SPS-AESS and EURASIP Summer School on ISAC, 25. 6.–1. 7. 2023, Baiona, Španija (2)
21. Carolina Fortuna, Gregor Cerar, Ljupcho Milosheski, Blaž Bertalančič, projektne sestanke HE NANCY, 27.–30. 6. 2023, Pisa, Italija (4)
22. Miha Rot, Andrej Kolar Požun, Mitja Jančič, ICCS 2023 konferenca, 2.–6. 7. 2023, Praga, Češka (3)
23. Jernej Hribar, EEML2023 Summer School, 9.–16. 7. 2023, Košice, Slovaška (1)
24. Aleš Simončič, COST INTERACT training school, 3.–9. 9. 2023, Cesenatico, Italija (1)
25. Grega Morano, konferenca IEEE PIMRC, 3.–10. 9. 2023, Toronto, Kanada (1)
26. Andrej Čampa, sestanek EU projekta BD4OPEM, 4.–6. 9. 2023, København, Danska (1)
27. Ljupcho Milosheski, konferenca IEEE MeditCom, 4.–7. 9. 2023, Dubrovnik, Hrvaška (1)
28. Tomaž Javornik, šesti sestanek upravnega odbora COST CA20210, 11.–14. 9. 2023, Poznań, Poljska (1)
29. Nina Verdel, konferenca IEEE STAR 2023, 13.–17. 9. 2023, Cavalese, Italija (1)
30. Miha Rot, Andrej Kolar-Požun, Dolomites Research Week on Approximation 2023, 14.–19. 9. 2023, San Vito di Cadore, Italija (2)
31. Jernej Hribar, Gregor Cerar, 32th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2023, 28.–29. 9. 2023, Portorož, Slovenija (2)
32. Miha Smolnikar, SYNERGY & BD4OPEM Joint Final event, 14. 11. 2023, Barcelona, Španija (1)
33. Mihael Mohorčič, Gregor Cerar, sestanek EuroQCI projekta, 17. 11. 2023, Zagreb, Hrvaška (2)
34. Carolina Fortuna, Blaž Bertalančič, NANCY plenary meeting in Athens, 11.–14. 12. 2023 (2)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Klemen Bregar*
2. dr. Andrej Čampa*
3. dr. Matjaž Depolli
4. dr. Carolina Fortuna
5. Ke Guan, PhD. Kitajska, znanstveni svetnik
6. Jernej Hribar, PhD., Irska
7. prof. dr. Andrej Hrovat
8. prof. dr. Tomaž Javornik, znanstveni svetnik
9. dr. Arsim Kelmendi*, odšel 1. 10. 2023
10. dr. Gregor Kosec
11. prof. dr. Andrej Lipelj*, znanstveni svetnik
12. Maciej Grzegorz Matyka, PhD., Poljska
13. **prof. dr. Mihael Mohorčič, znanstveni svetnik**
14. doc. dr. Roman Novak
15. doc. dr. Aleksandra Rashkovska Kocavska
16. prof. dr. Aleš Švigelj, strokovni sekretar odseka
17. Ivan Tomašič, PhD., Hrvaška

Podoktorski sodelavci

18. dr. Gregor Cerar
19. Shih-Kai Chou
20. dr. Teodora Kocavska
21. dr. Sebastijan Mrak, odšel 1. 6. 2023
22. dr. Filip Strniša
23. dr. Nina Verdel

Mlajši raziskovalci

24. Blaž Bertalančič, mag. inž. el.
25. Marko Hudomali, mag. inž. el.
26. Mitja Jančič, mag. inž. str.
27. Andrej Kolar - Požun, mag. fiz.
28. Ljupcho Milosheski, Msc., Makedonija
29. Nika Mlinarič Hribar, mag. fiz.
30. Grega Morano, mag. inž. el.
31. Miha Rot, mag. fiz.
32. Aleš Simončič, mag. inž. el.

33. Denis Sodin, mag. inž. el., odšel 1. 7. 2023

34. dr. Denis Sodin, odšel 1. 7. 2023

Strokovni sodelavci

35. Miha Mohorčič, dipl. inž. rač. in inf.
36. Blaž Rojc, mag. inž. rač. mat., odšel 1. 2. 2023
37. Miha Smolnikar, univ. dipl. inž. el.
- Tehniški in administrativni sodelavci**
38. Polona Anžur, dipl. ekon.
39. Tomaž Krištofelc
40. Marko Mihelin*, univ. dipl. inž. el., odšel 1. 4. 2023
41. Nika Simčič, univ. dipl. um. zgod.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Alfréd Rényi Intitut za matematiko, Budimpešta, Madžarska
2. ATOS, Madrid, Španija
3. Balkan Institute of Labor and Social Policy, Sofija, Bolgarija
4. Beijing Jiaotong University, Peking, Kitajska
5. ComSensus, d. o. o., Dob, Slovenija
6. Czech Technical University Prague, Praga, Češka
7. Elektro Celje, Celje, Slovenija
8. Elektro Gorenjska, Kranj, Slovenija
9. Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV), Ljubljana, Slovenija
10. ELES, d. d., Ljubljana, Slovenija
11. Engineering Ingegneria Informatica S.p.a., Rim, Italija
12. Estabanell y pahisa energia SA, Granollers, Španija
13. Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics, Frankfurt, Nemčija
14. Fundacion Tecnalia Research & Innovation, Derio Bizkaia, Španija
15. Grid Instruments, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
16. IES Solutions, Tremestieri Etneo, Italija
17. iMe Cor, d. o. o., Sežana, Slovenija
18. imec, Eindhoven, Nizozemska
19. INOV, Lizbona, Portugalska
20. Istituto di sociologia internazionale di Gorizia ISIG, Gorica, Italija

21. Interactive Wear AG, Starnberg, Nemčija
22. INTRACOM, Peania, Grčija
23. Kahlert School of Computing, University of Utah, ZDA
24. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
25. NETIS, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
26. NIL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
27. Nuvve Denmark, Copenhagen, Danska
28. Operato, d. o. o., Maribor, Slovenija
29. Politehniška univerza Barcelona, Barcelona, Španija
30. Resilience Advisors LTD, Worcester, Velika Britanija
31. Ruder Bošković Institute, Zagreb, Hrvaška
32. SFERA IT STORITVE, d. o. o., Maribor, Slovenija
33. Sustainable Innovation I Sverige, Stockholm, Švedska
34. Tavistock Institute of Human Relations (TIHR) London, Velika Britanija
35. Telekom Slovenije, d. d., Ljubljana, Slovenija
36. Trinity College Dublin, Dublin, Irska
37. Univerza Črne Gore, Fakulteta za elektrotehniko, Podgorica, Črna gora
38. Univerza Mälardalen, Västerås, Švedska
39. Univerza RWTH Aachen, Aachen, Nemčija
40. Univerza Sorbona, Pariz, Francija
41. Univerza v Antwerpnu, Antwerpen, Belgija
42. Univerza v Atenah NKUA, Atene, Grčija
43. Univerza v Banja Luki, Fakulteta za elektrotehniko, Bosna in Hercegovina
44. Univerza v Bologni, Bologna, Italija
45. Univerza v Firencah, Firenze, Italija
46. Univerza v Gentu, Gent, Belgija
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
49. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
50. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
51. Univerza v Vroclavu, Vroclav, Poljska
52. Uprava RS za zaščito in reševanje, Ljubljana, Slovenija
53. Vrije Universiteit Brussel, Bruselj, Belgija
54. We Plus, Torino, Italija
55. Odit-e, Meylan, Francija

ODSEK ZA RAČUNALNIŠKE SISTEME

E-7

Osnovne raziskave Odseka za računalniške sisteme obsegajo razvoj zmogljivih optimizacijskih algoritmov, inteligentne obdelave velikih količin podatkov, učinkovitega upravljanja in vizualizacije podatkov ter prilagodljivih računalniških struktur za hitrejšo in zanesljivejšo izvajanje algoritmov. Pozornost namenjamo samonastavljivim sistemom, modeliranju in optimiranju kompleksnih, dinamičnih in nedeterminističnih sistemov. V okviru navedenih raziskav razvijamo aplikacije na področjih proizvodnje, transporta, bioinformatike, prehrane, zdravja in medicine. Odsek vzdržuje visoko raven aktualnega znanja z raziskovalnih področij ter ima vzpostavljene povezave in sodelovanja z drugimi akademskimi institucijami in industrijo.



Vodja:
prof. dr. Gregor Papa

V letu 2023 smo nadaljevali delo na raziskovalnem programu (Računalniške strukture in sistemi – P2-0098) v okviru Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Osredotočamo se na področja raziskav, ki so tesno povezana z rekonfigurabilnimi sistemi, in sicer: zanesljivost, arhitekture podatkovno intenzivnih sistemov, sočasno načrtovanje strojne in programske opreme, planiranje in razvrščanje gradnikov za doseg večje energijske učinkovitosti, prilagodljive in učeče metode nadzora, dinamična prilagoditev spremenljivim kontekstom, odločitve v nezanesljivih in spremenljivih okoljih. Pri raziskavah se soočamo z naprednimi, interdisciplinarnimi raziskovalnimi izzivi, ki združujejo področja računalništva, inženirstva in matematike. Sodelavci odseka smo v letu 2023 raziskovalno delo nadgradili z zasnovo in razvojem rešitev v okviru 18 evropskih projektov v programih *Obzorje 2020*, *Obzorje Evropa*, *ECSEL JU*, *PRIMA*, *EFSA*, *COST* in *Interreg* ter v 11 domačih projektih. Naše delo je bilo povezano tudi z aktivnostmi *Strateško razvojno inovacijskih partnerstev* (SRIP) na področjih *Pametnih mest in skupnosti* (PMiS) ter *Tovarni prihodnosti* (ToP).

Optimizacijski algoritmi

Na aplikativnih področjih se srečujemo z optimizacijo različnih kriterijev z omejitvami, pri čemer se soočamo tudi z več sočasnimi in nasprotujočimi si cilji. Pri tem lahko uporabimo pristope računske ali umetne inteligence, podprte z zahtevnimi numeričnimi simulacijami.

V drugem letu ARIS raziskovalnega projekta *AutoOPT – Avtomatizirana izbira in konfiguracija enokriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov* (<https://cs.ijs.si/projects/199>), ki se izvaja v sodelovanju z Odsekom za tehnologije znanja, smo se osredotočili na zbiranje trajektorij podatkov, pridobljenih s preverjanjem različnih instanc modularnih implementacij algoritmov Differential Evolution ter Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy na več kot 500 primerjalnih testnih problemih. Sočasno smo raziskovali analitične značilke, ki bi lahko učinkovito zajele značilnosti problemov, ki so kritične za konfiguracijo in selekcijo algoritma. Z uporabo **razložljivih tehnik strojnega učenja** lahko poiščemo relacije med značilnostmi instance problema in učinkovitostjo uporabljenega optimizacijskega algoritma. Dodatno smo razširili ontologijo OPTION z na novo generiranimi podatki. Glavni cilj projekta je omogočiti uporabnikom pridobiti visokokakovostne rešitve za izbrano instanco optimizacijskega problema, brez zahtev po poglobljenem znanju o optimizacijskih algoritmi ali specifični instanci problema. Raziskave, izvedene znotraj projekta, so bile predstavljene v številnih člankih v revijah in na prestižnih mednarodnih konferencah. V kontekstu **optimizacijskega in meta učenja** (delo, opravljeno na projektu *RESPONSE – Učenje predstavitev pokrajin za razlago kakovosti stohastičnih optimizacijskih algoritmov* (<https://cs.ijs.si/projects/190>) ter bilateralnega projekta *AutoDesign4EC – Automated Configuration, Selection, and Design of Iterative Optimization Heuristics*) smo reducirali pristranskosti primerjalnih analiz pri evolucijskem računanju z inoviranjem, razvojem, implementacijo in vrednotenjem ogrođa za poglobljeno analizo pokrajine optimizacije. Ta je sestavljena iz metodologij, ki raziskujejo izraznost in robustnost pokrajinskih značilnosti problema s ciljem najti uporabne reprezentacije problemov (tj. nabor značilk). Objavili smo semantični model OPTION v reviji *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* o shranjevanju FAIR primerjalnih podatkov enokriterijske optimizacije. Razvili smo metodologije za poglobljeno analizo pokrajine optimizacije, osnovane na sinergiji med učenjem reprezentacij, strojnem učenjem in statistikami. Dodatno smo predlagali metode za iskanje območij lahko rešljivih optimizacijskih problemov za določen optimizacijski algoritem, skupaj z razlagami značilnosti, ki so vodile do rezultatov. Razvili smo metodologijo, ki temelji na reprezentaciji pokrajine, s katerimi lahko najdemo najbolj podobne probleme, za katere že imamo vedenje o najbolj uspešnem algoritmu. Poleg tega nam tovrstno znanje (tj. pretekli eksperimentalni podatki) omogoča uporabo pristopov meta učenja in razvoj modelov izbire algoritmov

za iskanje najprimernejšega algoritma za nove optimizacijske probleme. V tem primeru smo preizkusili različne modele strojnega učenja in uporabili tudi najsodobnejše metode, ki temeljijo na transformerjih, jih ovrednotili pri različnih učnih nalogah (klasifikacija nad več razredi, regresija z več cilji, regresija z enim ciljem, klasifikacija po parih) in različnih scenarijih vrednotenja (opustitev enega problema in opustitev ene instance). Poleg tega smo preizkusili generalizacijo modela za napovedovanje uspešnosti algoritma, ki je naučen na enem primerjalnem naboru (nabor instanc problemov) in ovrednoten na drugem (instance problemov, ki niso vključeni v nabor za učenje). Objavili smo članek v reviji *Expert systems with applications* in devet konferenčnih prispevkov, vključno z vrhunskimi konferencami o optimizaciji (*GECCO*, *IEEE CEC*, *IEEE SSCI* in *EvoApps*).

ARIS projekt mladega raziskovalca Gašperja Petelina obravnava temo samodejne izbire in konfiguracije algoritmov, ki je ključna na različnih področjih strojnega učenja, pri čemer smo se osredotočili na optimizacijo in **analizo časovnih vrst**. Na teh področjih je glavni izziv prepoznavanje lastnosti, ki učinkovito pomagajo pri izbiri boljših algoritmov. Na področju časovnih vrst raziskava proučuje učinkovitost trenutnih značilnosti pri napovedovanju uspešnosti določenih algoritmov. V podatkih o časovnih vrstah smo identificirali značilnosti, ki znatno izboljšajo natančnost napovedi uspešnosti. Pri optimizaciji uvajamo nove, s topologijo navdihnjene značilnosti, ki imajo koristne lastnosti, kot je robustnost na različne transformacije – kar je pogosta težava pri nekaterih obstoječih zbirkah značilk. Študija vključuje tudi napovedovanje obsega prometa v Ljubljani z analizo časovnih vrst, kar dodatno bogati naše raziskovalno področje. Objavili smo dva članka v revijah, in sicer v *Swarm and evolutionary computation* in *European transport research review*, ki pomembno poglobljata naše raziskovanje teh kompleksnih področij.

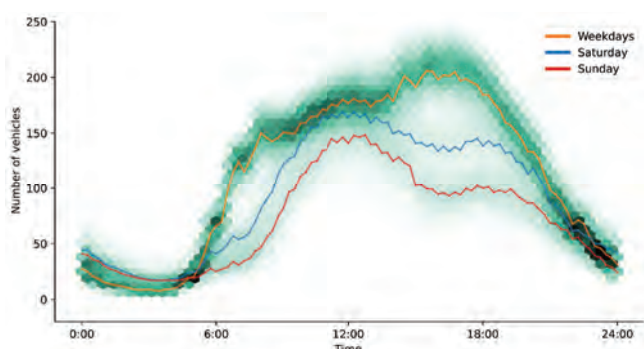
Drugi ARIS projekt mlade raziskovalke Gjorgjine Cenikj obravnava razvoj **metodologij učenja reprezentacij** za področje enokriterijske optimizacije ter njihove uporabe v okviru samodejne izbire in konfiguracije algoritmov. To vključuje razvoj novih reprezentacij za optimizacijske probleme in instance algoritmov, ki temeljijo na trajektorijah in zajemajo dinamiko populacije optimizacijskih algoritmov ter reprezentacije za instance problemov, ki temeljijo na arhitekturah globokega učenja nevronske mreže, kot so modeli transformerjev. Vrednotenje takšnih predstavitev se izvaja glede na njihovo učinkovitost pri izbiri algoritmov, analizo posplošitve modelov izbire algoritmov na podlagi teh reprezentacij ter napovedno moč zgrajenih reprezentacij in pomembnost njihovih značilk.

ARIS projekt mlade raziskovalke Ane Nikolikj se osredotoča na izboljšanje algoritmov optimizacije črne škatle (angl. Black-Box Optimization (BBO)) za zvezno enokriterijsko optimizacijo za kompleksne probleme s pomočjo prenosljivega in stalnega učenja. Raziskuje potencial prenosljivega učenja za pospešitev konvergence in izboljšanje kakovosti rešitev z uporabo znanja iz podobnih problemov ter reševanjem izzivov podobnosti strategij in problemov. Delo raziskuje tudi vpliv stalnega učenja na povečanje učinkovitosti samodejnih modelov za napovedovanje uspešnosti z vključevanjem težavnosti podatkov in usmerjanjem v raznoliko pokritost problemov ter izboljšano robustnost in posploševanje.

V okviru bilateralnega (ARIS - DAAD) projekta FB-DAC smo raziskali meta značilke, ki temeljijo na trajektorijah, za reprezentacijo ojačevalnih agentov pri dinamični konfiguraciji algoritmov (DAC). DAC obravnava izziv dinamičnega določanja hiperparametrov algoritma za večje število instanc, namesto osredotočanja na posamezne naloge. Agenti, natrenirani z učenjem z globokim ojačanjem (RL), zagotavljajo reševanje takšnih nastavitvev. Vendar omejena učinkovitost posploševanja teh agentov znatno ovira njihovo uporabo v DAC. Naša hipoteza je, da morebitna pristranskost učnih primerov omejuje zmožnosti posploševanja. Nadalje, izbiramo reprezentativno podmnožico učnih instanc, da se izognemo preveliki zastopanosti, nato pa agente ponovno učimo na tej podmnožici, da izboljšamo njegovo zmogljivost posploševanja. Zlasti pri oblikovanju meta značilk za izbiro podmnožic upoštevamo dinamično naravo agenta RL z izračunavanjem značilk časovnih vrst trajektorij akcij in nagrad, ki nastanejo pri interakciji

agenta z okoljem. Z empiričnimi ocenami primerjalnih analiz Sigmoid in CMA-ES iz standardne knjižnice za DAC, imenovane DACBench, povečujemo učinkovitost naše tehnike izbire v primerjavi z učenjem na celotni množici instanc. Naši rezultati poudarjajo učinkovitost izbire instanc pri izpolnjevanju izvajanja DAC za različne prostore instanc. Julija 2023 smo gostili nemško raziskovalno skupino, s katero smo se osredotočili na opredelitev raziskovalnih problemov, med obiskom novembra 2023 pa smo pregledali napredek in rezultate projekta.

V okviru projekta Obzorja Evropa *CONDUCTOR – Fleet and traffic management systems for conducting future cooperative mobility* (<https://conductor-project.eu/>) tehnično koordiniramo razvoj in integracijo naprednega sistema upravljanja prometa in voznega parka na visoki ravni, ki bo omogočal **učinkovit in globalno optimalen prevoz** potnikov in blaga, hkrati pa zagotavljal brezhibno multimodalnost in



Slika 1: Razlike med jutranjo in popoldansko prometno konico pri napovedovanju prometnega toka.

interoperabilnost. Skupaj s 15 partnerji iz 7 držav bomo uporabili inovativno dinamično uravnoteženje in prednostno upravljanje avtomatiziranih in konvencionalnih vozil. V ta namen bo konzorcij nadgradil najsodobnejše rešitve za upravljanje voznega parka in prometa v ekosistemu Cooperative Connected and Autonomous Mobility (CCAM) ter razvil simulacijske modele in orodja, ki jih omogočata strojno učenje in zlivanje podatkov, z namenom povečati zmogljivosti prometnih odločevalcev in operaterjev ter jim omogočiti, da postanejo upravljalci prihodnjih prometnih omrežij. V sodelovanju z Odsekom za umetno inteligenco smo razvili prve modele napovedovanja, ki bodo uporabljeni za primere odzivanja na povpraševanja pri podjetju GoOpti.

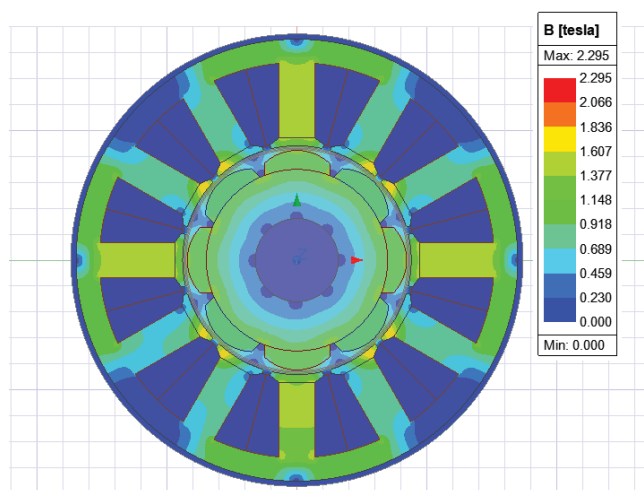
Industrijski projekt *Optimizacija samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij za MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.*, v sodelovanju z Odsekom za inteligentne sisteme je bil uspešno zaključen. V projektu je bila ob upoštevanju različnih omejitev določena optimalna zasnova elektromotorjev s poudarkom na zmanjšanju proizvodnih stroškov ob upoštevanju vrtilnega momenta. Kljub kompleksnosti zasnove motorjev je bil največji izziv računsko intenzivna narava simulacij. Te izzive smo rešili z uporabo večnivojskega optimizacijskega pristopa v povezavi s tehnikami nadomestne optimizacije. Predlagano metodologijo smo preizkusili na izbranem asimetričnem modelu in tudi z omejenim številom simulacij dosegli izjemno 10-odstotno zmanjšanje stroškov materiala, pri čemer smo ohranili vse zahtevane lastnosti motorja. Izboljšanje smo primerjali z optimizacijskim pristopom simulacijskega programskega okolja Ansys, kar kaže na pomembnost prilagajanja tehnik optimizacije specifičnim značilnostim problema. Obetavni rezultati utirajo pot za nadaljnje sodelovanje in morebitno razširitev našega pristopa za optimizacijo drugih elektromotorjev v podjetju. Pomen tega dela je bil tudi širše prepoznan, saj smo prejeli prestižno *nagrado TARAS Slovenskega industrijskega foruma* za najuspešnejše sodelovanje med podjetniškim in znanstvenoraziskovalnim okoljem na področju inovacij, razvoja in tehnologije.

Cilj COST akcije *ROAR-NET – Raziskovalna mreža naključne optimizacijske algoritme* (<https://roar-net.eu/>) je olajšati sprejemljivost algoritmov naključne optimizacije z odpravljanjem ovir na različnih ravneh. Osredotoča se na potrebe pri praktični uporabi in spodbuja razvoj za izboljšanje konkurenčnosti in širšo uporabo tovrstnih algoritmov. Akcija se je začela izvajati v drugi polovici leta. Vzpostavila je več delovnih področij: Modeliranje problemov in uporabniška izkušnja, Mešano zvezna in diskretna optimizacija, Eno- in večkriterijska optimizacija, Optimizacija ob negotovosti, Izbira in konfiguracija algoritmov ter Primerjalna analiza. Sodelavci odseka v akciji aktivno sodelujejo, zlasti v delovnih skupinah Eno- in večkriterijska optimizacija ter Izbira in konfiguracija algoritmov.

Naša doktorska študentka Margarita Antoniou je na mednarodni konferenci *International Bilevel Conference* v Southamptonu v Združenem kraljestvu prejela 3. nagrado za prispevek z naslovom *An Evolutionary Approach to Pessimistic Bilevel Problems*.

Obdelava podatkov

Elektronske komponente in sistemi (EKS) so bistvenega pomena za gospodarstvo in državljane EU, saj podpirajo področja, od transporta in mobilnosti do medicine in energetike. Eno od ključnih področij je **izboljšanje zanesljivosti** vedno bolj zapletenih čipov in sistemov, ki so zasnovani za obdelavo ogromnih količin podatkov, hkrati pa zagotavljajo večjo hitrost in natančnost obdelave ter zmanjšujejo porabo energije. Zaključili smo delo v okviru projekta ECSEL JU/ Obzorje 2020 *iRel40 – Intelligent Reliability 4.0* (<https://www.irel40.eu>) v sodelovanju s 75 partnerji iz 13 držav, s ciljem zmanjšati pogostost odpovedi EKS v celotni vrednostni verigi. Sodelovanje med akademsko sfero, industrijo in inštituti znanja je bilo vzpostavljeno z namenom obravnave tem od proizvodnje rezin do integracije sistemov ter združevanja njihovih prednosti s ciljem izboljšanja zanesljivosti. V okviru projekta iRel40 smo prispevali k realizaciji pametnega sistema za spremljanje stanja električnih motorjev v kolesih podjetja Elaphe. Naše raziskave v okviru projekta iRel40 bodo omogočile napovedovanje življenjske dobe motorja s tehnologijami pametnega zaznavanja in sprotnega spremljanja podatkov ter odkrivanja morebitnih degradacij kritičnih komponent. V ta namen smo uporabili najsodobnejše metode umetne inteligence in določili kritične parametre, ki imajo največji vpliv na zdravje motorja in pomagajo pri odkrivanju morebitne okvare motorja, preden do nje pride. Na ta način smo zajeli fizikalne lastnosti motorjev tudi v neidealnih pogojih, kot so visok šum meritev, odstopanja zaradi pospešenega staranja, neznani načini odpovedi, časovna korelacija in drugi. Prispevali smo tudi dve poglavji v knjigi o uporabi umetne inteligence pri obravnavi zanesljivosti.



Slika 2: Zmanjševanje navora pri optimizaciji elektromotorjev MAHLE.

Dosegli smo 10-odstotno zmanjšanje materialnih stroškov in ohranili vse zahtevane lastnosti motorja.

Uspešno smo zaključili sodelovanje v ECSEL JU / Obzorje 2020 projektu *InSecTT – Intelligent Secure Trustable Things* (<https://www.insectt.eu/>), kjer je 52 partnerjev sodelovalo pri iskanju sinergije tehnik umetne inteligence (AI) s tehnologijami interneta stvari (IoT). Znotraj tega projekta je naš odsek aktivno sodeloval pri dveh primerih uporabe. Prvi primer uporabe je bil osredotočen na implementacijo inteligentnih in prilagodljivih rešitev v zdravstvenem sektorju, zlasti v pametnih bolnišnicah. Naša prizadevanja so bila osredotočena na oblikovanje metod za odkrivanje anomalij v pacientovih biomedicinskih signalih z uporabo globokih nevronske mreže (DNN). Leta 2023 smo definirali končno različico naborov podatkov za usposabljanje in testiranje, ki zajemajo približno 85.000 označenih 12-kanalnih signalov EKG, od katerih vsak obsega 10-sekundne segmente, vzorčene pri 500 Hz, pridobljenih iz različnih javnih baz podatkov. Po obsežnem preizkušanju tako nadzorovanih kot nenadzorovanih metod učenja smo izpopolnili arhitekturo samodejnih kodirnikov s sposobnostjo zmanjševanja šuma, ki so se izkazali za zelo primerne za obvladovanje inherentnega šuma, prisotnega v vhodnih signalih EKG. Poglobili smo se v latentni prostor, kjer so signali prvotno kodirani, preden se rekonstruirajo nazaj v časovno domeno. S tem postopkom smo znatno zmanjšali dimenzijo vhodnih podatkov s 60.000 na 40, hkrati pa ohranili primerljivo natančnost pri prepoznavanju nepravilnosti. Poleg tega smo razvili spletno aplikacijo, ki omogoča zaznavanje anomalij v signalih EKG prek protokola FastAPI in ki poda verjetnost anomalije ter jo tudi vidno označi. Ta storitev je integrirana v širšo arhitekturo celotnega primera uporabe, skupaj z rešitvami sodelujočih partnerjev. Drugi primer uporabe se je nanašal na izboljšanje nujnih logističnih storitev v zdravstvu, predvsem v zvezi z lokalizacijo in navigacijo v zaprtih prostorih s pomočjo pametnih telefonov brez prisotnosti podatkovnega in komunikacijskega omrežja ter satelitske navigacije. Dokončali in testirali smo android aplikacijo, prilagojeno za pomoč reševalnim ekipam v kritičnih situacijah, kot so množične nesreče. Ta aplikacija omogoča natančno navigacijo do izbranih ciljev v večnadstropnih zgradbah, pri čemer izkorišča ustrezne informacije, pridobljene iz kod QR, nameščenih na vhodih v nadstropja, vključno s tlorisi in navigacijskimi grafi. Uporabljen navigacijski algoritem Dijkstra in algoritem PDR (Pedestrian Dead Reckoning) za sledenje gibanja uporabnikov med lokacijami QR kod zagotavlja zanesljivo natančnost navigacije. V primeru množične nesreče aplikacija posreduje strežniku trenutno lokacijo uporabnika, skupaj s triažnimi odločitvami, ki jih sprejmejo prvi posredovalci, kjer je na voljo akterjem, kot so reševalci in vodstvo reševanja. Če podatkovna komunikacijska omrežja niso na voljo, so triažni podatki varno shranjeni v lokalni zbirki podatkov, ki temelji na JSON podatkovni strukturi, in čakajo na prenos, ko je povezljivost ponovno vzpostavljena. Delo, opravljeno v okviru projekta, bo povzeto v poglavjih posebne knjige projekta.

V projektu iz programa Obzorje Evropa MSCA, *EXOWORLD – Understanding the evolution of EXOplanets and towards habitable WORLDS* (<https://cordis.europa.eu/project/id/101086149>) sodeluje 12 organizacij iz 8 držav. Cilj projekta je razviti nove tehnike odkrivanja, karakterizacije in statističnih metod za eksoplanete. S financiranjem mobilnosti raziskovalcev projekt izkorišča interdisciplinarno in mednarodno strokovno znanje za raziskovanje raznolikosti zunajsončnih planetarnih sistemov glede na njihov razvoj in za ugotavljanje, kateri pogoji vodijo do naseljivih svetov. Naš odsek vodi delovni paket Napredna računska orodja, katerega cilj je uvesti najsodobnejše metode strojnega učenja in optimizacije v obstoječe računalniške cevovode eksoplanetarne znanosti. Vključeni smo v več raziskovalnih dejavnosti, vključno z optimizacijo algoritmov za odkrivanje planetov in postopkov preverjanja kandidatov, raziskovanjem potenciala strojnega učenja za karakterizacijo eksoplanetov, rudarjenjem vzorcev za populacijske študije in ugotavljanjem zvezdne aktivnosti. Trenutno sta v pripravi dva članka, eden o statistiki populacij eksoplanetov, drugi pa o uporabi globokega učenja za odkrivanje eksoplanetov z uporabo podatkov teleskopa TESS.

Cilj projekta iz programa PRIMA, *WEFE4MED – Towards a Mediterranean WEFE Nexus Community of Practice* (<https://wefe4med.eu/>) je zagotoviti odporno, krožno in zeleno gospodarstvo ter doseči cilje trajnostnega razvoja na področju vode, energije, hrane in ekosistemov. Skupaj z Odsekom za tehnologije znanja in Centrom za pametna mesta prispevamo svoje znanje na področju podatkovne analitike in podpore odločanju, kjer bodo naše rešitve za podatkovno analitiko, optimizacijo in strojno učenje pomagale pri doseganju splošnih ciljev in uresničevanju rešitev v praksi. To bomo dosegli prek skupnosti Nexus Community of Practice (NCoP), ki združuje praktike, akademike, oblikovalce politik in druge zainteresirane strani. V začetni fazi smo sodelovali pri vzpostavljanju temeljev za zbiranje najboljših praks in spodbujanje njihove uporabe med deležniki v balkanski regiji.

Cilj projekta iz programa COST akcije, *PerMediK – Personalized medicine in chronic kidney disease: improved outcome based on Big Data* (<https://www.cost.eu/actions/CA21165/>) je pospešiti personalizirano medicino pri kronični ledvični bolezni (CKD) z uporabo večdimenzionalnih -omičnih podatkov. Kljub napredku na področju molekularnih podatkov in terapevtskih ciljev klinično izvajanje ovirajo komunikacijske vrzeli in izolirane dejavnosti. Ta ukrep je pomembna multidisciplinarna platforma, ki združuje evropske strokovnjake s področja nefrologije, -omike, bioinformatike in drugih področij. Z izkoriščanjem prejšnjih pobud bodo viri maksimalno izkoriščeni za obravnavo kritičnih vidikov personalizirane medicine pri CKD. Učinki vključujejo pospeševanje sprejemanja tehnologije, usmerjanje prihodnjih raziskav, spodbujanje inovacij in usposabljanje naslednje generacije znanstvenikov s področja natančne medicine. PerMediK spodbuja integrativni pristop z razširjanjem strokovnega znanja in orodij ter tako prispeva k napredku evropskih raziskav.

Upravljanje in vizualizacija podatkov

V okviru nacionalnega projekta *OPKP – Odprta platforma za klinično prehrano* (<http://www.opkp.si>) je bila pregledana in posodobljena baza podatkov o sestavi živil. Leta 2023 smo dodatno nadgradili informacijski sistem NutriBase (sistem za upravljanje podatkovne baze in baze znanja). V orodje so bili uvoženi podatki za približno 20.000 živil blagovnih znamk, tako NutriBase zdaj služi tudi kot orodje za množično zbiranje podatkov o živilih blagovnih znamk. Poleg tega se lahko slovenski proizvajalci živil registrirajo v NutriBase, kjer urejajo podatke o svojih izdelkih. Enoten sistem omogoča izmenjavo podatkov s potrošniki.

V okviru programa Obzorje Evropa v projektu *FishEUTrust – European integration of new technologies and socioeconomic solutions for increasing consumer trust and engagement in seafood products* (<https://www.fisheustrust.org/>) vodimo delovni sklop, ki se ukvarja s povezljivostjo podatkov in njihovo analizo. V sodelovanju s partnerji razvijamo platformo, prek katere bodo zainteresirani deležniki dostopali do podatkov o kakovosti in sledljivosti rib. Hkrati oblikujemo nov podatkovni model za semantično povezovanje podatkov. V sodelovanju z *Univerzo v Firencah* obdelujemo podatke o mikrobiomu rib z **metodami strojnega učenja**. V reviji *Scientific Reports* smo objavili članek.

Oblikujemo nov podatkovni model za semantično integracijo podatkov.

Namen projekta Obzorja 2020 *COMFOCUS – Community on Food Consumer Science* (<https://comfocus.eu>) je pospešiti razvoj znanosti o potrošništvu hrane v s podatki bogato znanstveno področje, kar prispeva k reševanju družbenega problema (ne)zdrave izbire hrane. V projektu vodimo delovni sklop za razvoj računalniških orodij za delo s podatki. V drugem delovnem sklopu razvijamo novo ontologijo za semantični opis podatkov o prehranjevalnih navadah potrošnikov. Ontologijo uporabljamo za razvoj grafa znanja, ki se bo uporabljal pri napredni analizi podatkov z uporabo predstavitvenega učenja. Objavili smo več člankov v revijah *Scientific reports*, *Artificial Intelligence in Medicine*, *Appetite*, *Nutrients* ter se predstavili na konferencah *KDD Student Symposium 2023* in *European Nutrition Conference FENS 2023*.

V evropskih projektih *AGROSERV*, *INPROFF* in *PROMEDLIFE* v sodelovanju z *Odsekom znanosti o okolju* razvijamo metodologijo za napredno obdelavo podatkov o izotopski sestavi hrane. IJS smo zastopali na letnem srečanju *PROMEDLIFE* v Tuniziji. Spletno orodje *IsoFoodTrack* (<http://isofoodtrack.ijs.si/>) nenehno posodabljam in nadgrajujemo z novimi podatki. Prispevke smo objavili na simpoziju *ISO-FOOD Symposium From Food Source to Health and Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference*. V okviru programa ESFRI, projekt *MetroFood PP*, smo zaključili pripravljalno fazo in začeli z novo fazo zgradnjega izvajanja (EPI). V tem projektu ponujamo podporo sodelavcem IJS pri obdelavi in upravljanju podatkov o živilih.

Projekt Obzorja 2020 *FNS-Cloud – Food Nutrition Security Cloud* (<http://www.fns-cloud.eu>) je bil uspešno zaključen leta 2023. Vodili smo delovni sklop, namenjen razvoju metodologij in storitev za **semantično povezovanje, analizo in vizualizacijo** podatkov o hrani in prehrani. S kolegi z *Odseka za tehnologije znanja* in *Univerze v Firencah* smo uspešno razvili in objavili ontologijo *FNS-Harmony* ter izvedli delavnico za usposabljanje domenskih strokovnjakov za delo z ontologijo. V sodelovanju s *Quadram Institute* v Združenem kraljestvu smo razvili in uporabili metodologijo za napredno obdelavo podatkov, zbranih v študiji o vplivu prehrane na mikrobiom zdravih odraslih oseb. Na *KDD Student Symposium 2023* smo objavili članek.

Avgusta 2023 je Eva Valenčič uspešno zaključila dvojni doktorat na *MPŠ* in *Univerzi v Newcastlu* v Avstraliji z disertacijo *Using information and communication technologies, data and knowledge to increase the impact of digital environments on food choices*. Disertacija se osredotoča na oblikovanje podpornih digitalnih okolij za potrošnike z uporabo promocijskih strategij ter zagotavljanje ustreznih in natančnih podatkov in znanja o sestavi živil strokovnjakom, ki načrtujejo in oblikujejo (digitalna) okolja.

Na področju **učinkovitih sistemov za interakcijo** z računalniki smo se osredotočili na spletna orodja za prehrano in informatiko o hrani. Poglobljeno smo raziskali in oblikovali vizualne predstavitve za različne projekte, aplikacije in spletne strani. V sodelovanju s partnerji in končnimi uporabniki smo analizirali potrebe uporabnikov in opredelili ustrezne uporabniške izkušnje ter oblikovali ustrezne grafične vmesnike za več orodij, povezanih s prehrano.

Projekt iz programa Interreg *SI4Care – Social Innovation for integrated health CARE of ageing population in ADRIAN Regions* (<https://si4care.adrianinterreg.eu>) se ukvarja s socialnimi inovacijami na področju dolgotrajne oskrbe in ima za cilj pripravo skupne transnacionalne strategije in akcijskih načrtov za posamezne države, ki v projektu sodelujejo in izvirajo iz Jadransko-jonske regije. Napredovali smo v delu na področju rešitev interneta stvari za posamezna področja. V reviji *IEEE Access* je objavljeno naše delo o platformi za pametne ravnotežne deske s procesiranjem podatkov na robu (and. Edge computing). Prav tako smo v okviru projekta *SI4Care* organizirali lokalni posvet, osredotočen na uporabo tehnologije za rehabilitacijo in usposabljanje starejših, ki so se ga udeležili vsi pomembni deležniki v Sloveniji. Izsledki fokusnih skupin, izvedenih na posvetu, so bili objavljeni v reviji *Frontiers in Public Health*. V tem zadnjem letu smo organizirali različne dogodke za razširjanje rezultatov projekta med deležniki in se pridružili *MRRC UL SI-AHA – multidisciplinary research and development center for social innovations for active and healthy ageing*, kjer bomo še naprej prispevali s tehničnim znanjem na to temo. Za

boljšo uporabo rezultatov projekta smo razvili spletno orodje za pogovorno interakcijo z različnimi dokumenti, ki so nastali med projektom, npr. z rezultati, pilotnimi poročili, raziskovalnimi dokumenti in transnacionalno strategijo skupaj z nacionalnimi akcijskimi načrti.

V drugem letu ARIS raziskovalnega projekta zgodovinskih ved *Historična topografija Posavja in Posotelja* (<https://piir.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/historicna-topografija-posavinja-in-posotelja>), s *Slovensko akademijo znanosti in umetnosti*, so bila naša prizadevanja usmerjena predvsem v zbiranje ustreznih zgodovinskih podatkov, avtomatizacijo obdelave in preverjanje točnosti zbranih informacij. Osredotočili smo se tudi na učinkovito shranjevanje zbranih podatkov. Ta raziskovalni projekt predstavlja tretjo fazo dolgoročne pobude, ki se osredotoča na zgodovinsko topografijo Posavja in Posotelja. Do zdaj je bilo obdelanih približno 3000 toponimov, pridobljenih iz skeniranih dokumentov z uporabo OCR in različnih drugih arhivov. Vendar je treba zbrati še precej podatkov, zlasti s poudarkom na razrešitvi večine nerešenih lokacij. Ti koraki so ključnega pomena, saj so osnova za nadaljnje raziskave in vključitev v obstoječo slovensko zbirko historične topografije.

Prilagodljive računalniške strukture

Za učinkovito izvedbo naših algoritmov smo proučili več možnosti izvedbe v posebni strojni opreми, predvsem z uporabo programirljivih polj logičnih vrat (angl. Field-Programmable Gate Array ali FPGA) ter prilagodljivih vgrajenih sistemov in senzorjev. Razvijamo infrastrukturo za pospeševanje algoritmov, ki temelji na **pospeševalnih karticah FPGA ALVEO** podjetja Xilinx. Na karticah FPGA smo implementirali umetne nevronske mreže. Pri tem smo namesto plavajoče vejice, ki je tipično uporabljena v umetnih nevronskih mrežah, uporabili nepremično vejico. Zapis z nepremično vejico je vodil do področja kvantiziranih nevronskih mrež, ki smo jih raziskovali tako z algoritmičnega vidika kot z vidika učinkovitih implementacij v strojni opreми. Kvantizirane nevronske mreže omogočajo prilagodljivost težavnosti računanja v zameno za točnost mreže – **približno računanje**.

V sodelovanju z *Indian Institute of Technology Indore* smo razvili učinkovito strojno izvedbo enote Softmax (SF). Temelji na CORDIC arhitekturi cevovoda z nastavljivo eksponentialno enoto (ExU) in delitveno enoto (DiU). Rešitev je bila testirana na napravi FPGA. Raziskani so bili kompromisi med natančnostjo bitov, globino cevovoda, hitrostjo in natančnostjo SF. Članek z opisom ocene razvite enote je bil oddan v revijo *IEEE Access*.

Nadaljevali smo delo na ECSEL JU / Obzorje 2020 projektu DAIS – *Distributed Artificial Intelligent Systems* (<https://dais-project.eu/>), skupaj s 47 partnerji iz 11 držav. Skupni cilj projekta je razvoj rešitev za porazdeljene in varne umetne inteligentne sisteme. Prizadevamo si rešiti težave, ki nastanejo pri izvajanju obstoječih algoritmov na teh široko razširjenih robnih napravah. Naš odsek v sodelovanju s podjetji Cosylab in TPV razvija avtonomno avtomatizirano vodeno vozilo (AGV), ki bo uporabno v industrijskem okolju. Opravljeno delo, ki vključuje nastavljen generator konvolucijske procesne enote mešane natančnosti in visoko **kvantizirane nevronske mreže na vezjih FPGA**, je bilo objavljeno na *the 26th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems* in na *26th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD)*.

Nadaljevali smo raziskovalno delo v okviru projekta ARRS CODA – *Context-aware on-device approximate computing* (<https://www.fri.uni-lj.si/en/projects/1719>) v sodelovanju s *Fakulteto za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani*. Projekt cilja na drastično zmanjšana povpraševanja po virih v mobilnem računalništvu s pomočjo **prilagajanja zahtevnosti računanja na zahteve**, ki jih narekuje kontekst uporabe. Naša naloga pri

projektu je proučiti primere uporabe, kjer bi algoritmi, razviti pri projektu, prišli do izraza. Potem ko smo na začetku projekta raziskovali vprašanje varnosti v gorah pozimi, ko je nevarnost plazov največja, smo poiskali nova področja. Zdravstvo in uporaba različnih senzorjev za stalno spremljanje kroničnih bolezni ali igrifikacija vadbe sta dve področji, ki imata koristi od zavedanja konteksta in približnega računalništva, ki obeta zmanjšanje porabe energije. V sodelovanju z *Odsekom za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko* ter *Univerzitetnim kliničnim centrom* v Ljubljani smo razvili in preizkusili napravo za spremljanje vratne distonije, ki jo sestavlja senzor 9DOF z mobilno aplikacijo.

Projekt Athena (<https://www.athenaequality.eu/>) je podpiral IJS in druge projektne partnerje pri izvajanju načrta za enakost spolov (NES). Naš odsek aktivno sodeluje na vseh ravneh priprave, izvajanja in spremljanja NESa. Uradno sprejetje NESa na IJS je mejnik na poti k enakosti spolov. V poročilu o spremljanju za leto 2023 je poudarjen napredek na vseh področjih NESa, še posebej pa s spremembami meril za akademsko napredovanje in uvedbo spolno občutljive rabe jezika. V letu 2023 je IJS spodbujal enakost spolov s seminarji, delavnicami in ukrepi za preprečevanje nasilja na podlagi spola.



Slika 3: Prototip sistema FPGA za prepoznavanje predmetov pri vozilih AGV.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

- Petelin, Gašper, Cenikj, Gjorgjina, Eftimov, Tome, Towards understanding the importance of time-series features in automated algorithm performance prediction, *Expert systems with applications*, 2023, 213, B, 119023, DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119023
- Cenikj, Gjorgjina, Eftimov, Tome, Koroušič-Seljak, Barbara, FooDis: a food-disease relation mining pipeline, *Artificial intelligence in medicine*, 2023, 142, 102586, DOI: 10.1016/j.artmed.2023.102586
- Petelin, Gašper, Hribar, Rok, Papa, Gregor, Models for forecasting the traffic flow within the city of Ljubljana, *European transport research review*, 2023, 15, 30, DOI: 10.1186/s12544-023-00600-6
- Petelin, Gašper, Antoniou, Margarita, Papa, Gregor, Multi-objective approaches to ground station scheduling for optimization of communication with satellites, *Optimization and engineering*, 2023, 24, 147-184, DOI: 10.1007/s11081-021-09617-z
- Cenikj, Gjorgjina, Strojnik, Lidija, Angelski, Risto, Ogrinc, Nives, Koroušič-Seljak, Barbara, Eftimov, Tome, From language models to large-scale food and biomedical knowledge graphs, *Scientific reports*, 2023, 13, 7815, DOI: 10.1038/s41598-023-34981-4
- Valenčič, Eva, Beckett, Emma, Collins, Clare Elizabeth, Koroušič-Seljak, Barbara, Bucher, Tamara, SnackTrack: an app-based tool to assess the influence of digital and physical environments on snack choice, *Nutrients*, 2023, 15, 2, 349, DOI: 10.3390/nu15020349
- Kostovska, Ana, Vermetten, Diederick, Doerr, Carola, Džeroski, Sašo, Panov, Panče, Eftimov, Tome, OPTION: OPTimization algorithm benchmarking ONTology, *IEEE transactions on evolutionary computation*, 2023, 27, 6, 1618-1632, DOI: 10.1109/TEVC.2022.3232844
- Mehra, Sumiran, Raut, Gopal, Das, Ribhu, Vishvakarma, Santosh Kumar, Biasizzo, Anton, An empirical evaluation of enhanced performance softmax function in deep learning, *IEEE access*, 2023, 11, 34912-34924, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3265327
- Abina, Andreja, Cestnik, Bojan, Kovačič Lukman, Rebeka, Zavernik, Sara, Ogrinc, Matevž, Zidanšek, Aleksander, Transformation of the RESPO decision support system to higher education for monitoring sustainability-related competencies, *Sustainability*, 2023, 15, 4, 3477, DOI: 10.3390/su15043477
- Fragkiadaki, Stella, Kontaxopolou, Dionysia, Šemrov, Darja, Colnar, Simon, Luštrek, Mitja, Blažica, Bojan, Dimovski, Vlado, Papageorgiou, Sokratis G., *et al.*, How well did the healthcare system respond to the healthcare needs of older people with and without dementia during the COVID-19 pandemic: the perception of healthcare providers and older people from the SI4CARE Project in the ADRION Region, *Geriatrics*, 2023, 8, 1, 21, DOI: 10.3390/geriatrics8010021

MEDNARODNI PROJEKTI

- ArcelorMittal štipendiranje Ane Nikolić; ArcelorMittal - IJS Sporazum o medsebojnem sodelovanju in pogodba o štipendiranju
ArcelorMittal Innovación Investigación
doc. dr. Tome Eftimov
- H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
- H2020 - iRel40; Inteligentna zanesljivost 4.0
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
- H2020 - InSecTT; Inteligentne varne zanesljive stvari
European Commission
dr. Drago Torkar
- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
dr. Vida Vukašinović
- H2020 - COMFOCUS; Skupnost raziskovalcev, ki delujejo na področju potrošniških raziskav o hrani
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
- H2020 - DAIS; Porazdeljeni sistemi umetne inteligence
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
- H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
- Avtomatizirana konfiguracija, izbira in načrtovanje heuristike iterativne optimizacije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Tome Eftimov
- Pošteno primerjalno analizo za dinamično konfiguracijo algoritma
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Tome Eftimov
- OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
- OE - CONDUCTOR; Sistemi upravljanja vozil in prometa za vodenje sodelovalne mobilnosti prihodnosti
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
- OE - BENCHMARKS; Izgradnja Evropske mreže za opisovanje in usklajevanje pristopov spremljanja raziskav in znanja o tleh
European Commission
dr. Bojan Blažica
- OE - WASTELESS; Rešitve za kvantifikacijo odpadkov za omejitev okoljskega stresa
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
- OE - EXOWORLD; Razumevanje evolucije EXOplanetov v smeri bivalnih SVETOV
European Commission
Rok Hribar, univ. dipl. fiz.
- EIT Climate-KIC; UP SCALE - Pionirji Urbanizma - Sistemske spremembe v urbanem okolju
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
prof. dr. Gregor Papa

17. OE - FishEUTrust; Evropska integracija novih tehnologij in družbenoekonomskih rešitev za povečanje zaupanja potrošnikov in udeleževanje pri izdelkih morske hrane
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
18. PRIMA; PROMEDLIFE - Novi prehrabeni izdelki za promocijo mediteranskega življenjskega sloga in zdravega prehranjevanja
PRIMA Foundation - Partnership For Research And
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
19. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
Prima Foundation - The Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Gregor Papa
20. EFSA; EU FCDB - Vzpostavitev prosto dostopne podatkovne zbirke EU o sestavi živil
EuroFIR AISBL - European Food Information Resource
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
21. WBL Dotacija; Dotacija za učenje na delovnem mestu
The University of Wales Trinity Saint David
doc. dr. Tome Eftimov
22. COST CA22137; ROAR-NET - Raziskovalna mreža za ključne optimizacijske algoritme
COST Association AISBL
dr. Vida Vukašinović
23. COST CA21165; PerMediK - Personalizirana medicina pri kronični ledvični bolezni: izboljšani rezultati na podlagi velikih podatkov
COST Association AISBL
doc. dr. Tome Eftimov
4. Auto-OPT: Avtomatizirana izbira in konfiguracija eno-kriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov
prof. dr. Peter Korošec
5. Historična topografija Posavinja in Posotelja
prof. dr. Peter Korošec
6. METROFOOD
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
7. SI4CARE - Socialne inovacije za celostno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region
dr. Bojan Blažica
8. Veš kaj piješ? Opolnomočenje prebivalcev za zmanjšanje rabe alkohola
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
9. Veš Kaj Ješ in zagotavljanje delovanja Inovativne rešitve za informirane odločitve
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
10. PISKR - Program implementacije Smernic zdravega prehranjevanja v vzgojno-izobraževalnih zavodih za krepitev ponudbe zdravih šolskih obrokov
Nacionalni inštitut za javno zdravje
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
11. ZaUpam - podpora trgovskim podjetjem za izboljšanje sestave živil in spodbujanje zdravih izbir
Trgovinska zbornica Slovenije
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
12. Digitalne rešitve in opolnomočenje rabe Informacijskih Tehnologij za spodbujanje zdravih izbir in promocijo zdravja (DoIT)
Zveza potrošnikov Slovenije
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
13. SLOSEQ
Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano
dr. Drago Torkar
14. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Gregor Papa

PROGRAM

1. Računalniške strukture in sistemi
prof. dr. Gregor Papa

PROJEKTI

1. Kontekstno-odvisno približno računanje na mobilnih napravah
dr. Bojan Blažica
2. Kakovost, varnost in pristnost živil in krme na osnovi proteinov žuželk
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
3. Učenje predstavitev pokrajini za razlago kakovosti stohastičnih optimizacijskih algoritmov
doc. dr. Tome Eftimov

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Optimizacija samodrznega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij
MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.
prof. dr. Peter Korošec

OBISKI

1. Luisa Maria Serrano, Università degli Studi di Torino, Torino, Italija, 27. 3.–27. 4. 2023
2. Jan Kincl, Tomas Bata University, Faculty of Applied Informatics, Zlín, Češka, 1. 4.–31. 7. 2023
3. dr. Anja Jankovic, Sorbonne University, Pariz, Francija, 15.–24. 5. 2023
4. Carolin Benjamins, prof. dr. Marius Lindauer in Aditya Mohan, Leibniz University, Hannover, Nemčija, 24. 7.–28. 7. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. dr. Gregor Papa, Uporaba odsečne baze in internih spletnih strani, 23. 1. 2023
2. prof. dr. Gregor Papa, Pregled dela v 2022, 6. 2. 2023
3. Gašper Petelin, TLA: Topological Landscape Analysis for Single-Objective Continuous Optimization Problem Instances, 13. 2. 2023
4. dr. Urban Škvorc, E7 Public Department Presentation, 20. 2. 2023
5. Andraž Simčič, Implementacija priporočilnega sistema za hrano v aplikaciji Mapper, 13. 3. 2023
6. dr. Drago Torkar, AI-COSTSQQ: Artificial Intelligence and Combined Survey Techniques for Stone Quarries Optimization, 27. 3. 2023
7. Jure Vreča, A Mixed Precision Convolution Processing Unit Generator in Chisel, 8. 5. 2023
8. dr. Eva Valenčič, Use of information and communication technologies, data and knowledge to increase the impact of digital environments on food choice, 15. 5. 2023
9. Anton Biasizzo, Quantum computing, 5. 6. 2023
10. Gjorgjina Cenikj, DynamoRep: Trajectory-Based Population Dynamics for Classification of Black-box Optimization Problems, 12. 6. 2023
11. Tina Kondić, FishEUTrust Gamification – game first draft, 2. 10. 2023
12. Anastasija Manojlovska in Jure Vreča, Pametno upravljanje s podatki – Git LFS in Weights & Biases (Data and experiment management), 16. 10. 2023
13. Hendrik Schmerling, Detection of Transiting Exoplanets, 6. 11. 2023
14. Rok Hribar, Mining Exoplanet Data with a Decoder-Only Model, 13. 11. 2023
15. Gjorgjina Cenikj, TransOpt: Transformer-Based Representation Learning for Optimization Problem Classification, 20. 11. 2023

16. Andreja Vlašič, Funkcije Web&Time and space, 27. 11. 2023
17. Eduardo Aguilar Torres, Uncertainty in multi-label recognition, 27. 11. 2023
18. prof. dr. Peter Korošec, Decentralized Edge Intelligence: Advancing Trust, Safety, and Sustainability in Europe, 11. 12. 2023
19. dr. Vida Vukašinović, Odprta znanost v Evropskem raziskovalnem prostoru, 18. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Margarita Antoniou, mednarodna konferenca Bilevel Optimization, Southampton, Velika Britanija, 7.–15. 8. 2023
2. doc. dr. Anton Biasizzo in Jure Vreča, projektni sestanek DAIS, München, Nemčija, 23.–26. 10. 2023
3. dr. Bojan Blažica, Kick off sestanek BENCHMARKS projekta, Wageningen, Nizozemska, 12. 2.–15. 2. 2023
4. dr. Bojan Blažica, partnerski sestanek SI4Care, Lamezia Terme, Italija, 27.–29. 3. 2023
5. dr. Bojan Blažica, predstavitev projekta SI4Care, Ljubljana, 18. 5. 2023
6. dr. Bojan Blažica, konferenca 22. Vrh kmetijskih in živilskih podjetij, Portorož, 7. 6. 2023 (1)
7. dr. Bojan Blažica, Wageningen Soil Conference 2023, Wageningen, Nizozemska, 28. 8.–1. 9. 2023
8. dr. Bojan Blažica, projektni sestanek Benchmarks, Basel, Švica, 12.–14. 9. 2023
9. Gjorgjina Cenikj, Bilateralni obisk Universe Sorbonne, Pariz, Francija, 28. 2.–11. 3. 2023
10. Gjorgjina Cenikj, Data visualisation workshop FoodTraNet, Almeria, Španija, 18.–24. 6. 2023 (1)
11. Gjorgjina Cenikj, doc. dr. Tome Eftimov, Ana Nikolikj, Gašper Petelin, konferenca GECCO, Lizbona, Portugalska, 13.–23. 7. 2023 (3)
12. Gjorgjina Cenikj, Mediterranean Machine Learning Summer School, Thessaloniki, Grčija, 27. 8.–3. 9. 2023
13. Gjorgjina Cenikj in doc. dr. Tome Eftimov, COST meeting PerMediK, Atene, Grčija, 13.–16. 9. 2023
14. Gjorgjina Cenikj, Gašper Petelin in dr. Urban Škvorc, IEEE konferenca SSCI, Mexico City, Mehika, 2.–15. 12. 2023 (3)

15. Gjorgjina Cenikj, doc. dr. Tome Eftimov in Ana Nikolikj, Bilateralni obisk BI-DE/23-24-003, Hannover, Nemčija, 13.–17. 11. 2023
16. doc. dr. Tome Eftimov, dr. Gordana Spirova, Tina Kondić, prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, Robert Modic, Matevž Ogrinc in Andraž Simčič, projektni sestanek FishEUTrust, Mosta, Malta, 1.–4. 2. 2023
17. doc. dr. Tome Eftimov, konzorcij EU projekta, Copenhagen, Danska, 29. 1.–1. 2. 2023
18. doc. dr. Tome Eftimov, Gjorgjina Cenikj, Ana Nikolikj in Urban Škvorc, COSEAL workshop in AutoML, Pariz, Francija 6.–11. 3. 2023
19. doc. dr. Tome Eftimov, dr. Gordana Spirova, konferenca ISO-FOOD 2023, Portorož, 24.–25. 4. 2023 (1)
20. doc. dr. Tome Eftimov, konferenca MkSummit2025, Skopje, Makedonija, 25. 4.–3. 5. 2023 (1)
21. doc. dr. Tome Eftimov, dr. Gordana Spirova, prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, delavnica FNS Cloud, Firenze, Italija, 13.–13. 5. 2023
22. doc. dr. Tome Eftimov in Ana Nikolikj, IEEE 2023 Congress on Evolutionary Computation, Chicago, ZDA, 25. 6.–7. 7. 2023 (1)
23. doc. dr. Tome Eftimov, vabljeni predavanja na Fakulteti za računalništvo in inženiring, Univerza sv. Cirila in Metoda, Skopje, Severna Makedonija, 23. 5.–7. 6. 2023
24. doc. dr. Tome Eftimov, seminar Synergizing Theory and Practice of Automated Algorithm Design for Optimization, Dagstuhl, Nemčija, 13.–18. 8. 2023 (1)
25. doc. dr. Tome Eftimov, prof. dr. Peter Korošec, konferenca ESSAI & ACAI 2023, Ljubljana, 24.–27. 7. 2023
26. doc. dr. Tome Eftimov, znanstveni simpozij Mohn nutrition research laboratory, Bergen, Norveška, 22.–25. 11. 2023 (1)
27. doc. dr. Tome Eftimov, vabljeni obisk Sorbonee Univeristy, Pariz, Francija, 26. 11.–8. 12. 2023 (1)
28. Rok Hribar, projektni sestanek EXOWORLD, Berlin, Nemčija, 21.–24. 2. 2023
29. Rok Hribar, prof. dr. Gregor Papa in dr. Vida Vukašinović, projektni sestanek CONDUCTOR, Rim, Italija, 20.–22. 3. 2023
30. Rok Hribar, projektni sestanek iRel40, Kreta, Grčija, 8.–13. 5. 2023
31. Rok Hribar, revizijski sestanek projekta iRel40, Regensburg, Nemčija 7.–9. 11. 2023
32. dr. Gordana Spirova, konferenca ISBNPA 2023, Uppsala, Švedska, 13.–20. 6. 2023 (1)
33. Tina Kondić, The Game Design and Development summer school, Utrecht, Nizozemska, 19.–28. 8. 2023
34. Tina Kondić in Robert Modic, FishEUTrust annual meeting, Firezne, Italija, 9.–10. 10. 2023
35. Tina Kondić, delavnica testiranja orodja za vpisovanje živil, 10. 11. 2023
36. prof. dr. Peter Korošec, konferenca OLA 2023, Malaga, Španija, 2.–6. 5. 2023 (1)
37. prof. dr. Peter Korošec, prijava novega projekta EdgeAI-Trus, Dunaj, Avstrija, 29.–31. 3. 2023
38. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, delovni sestanek COMFOCUS, Wageningen, Nizozemska, 29. 1.–1. 2. 2023
39. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, projektni sestanek COMFOCUS, Porto, Portugalska, 7.–11. 2. 2023
40. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, sestanek projektnih partnerjev ZaUpam, Ljubljana, Slovenija, 2. 3. 2023
41. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, projektni sestanek PROMEDLIFE, Tunis, Tunizija, 20.–23. 3. 2023
42. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, projektni sestanek FNS-Cloud, Atene, Grčija, 28. 3.–1. 4. 2023
43. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, EuroFIR Food Forum 2023, Bruselj, Belgija, 17.–21. 4. 2023
44. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, sestanek EFSA, Parma, Italija, 23.–25. 4. 2023
45. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, projektni sestanek COMFOCUS, Amsterdam, Nizozemska, 30. 5.–1. 6. 2023
46. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, sestanek DoIT, Ljubljana, 15. 6. 2023
47. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, FCI workshop *Ontology for Sustainability In Policy Implementation Through Societal-Scale Behavioral Change and Ecosystem Transformation*, Montreal, Kanada, virtualno, 21. 7. 2023
48. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, Matevž Ogrinc, Andraž Simčič, ESSAI & ACAI 2023, Ljubljana, 24.–28. 7. 2023
49. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, EU Proposal Citizen Science, Bruselj, Belgija, 29.–31. 8. 2023
50. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, zaključni sestanek FNS Cloud, Bruselj, Belgija, 11.–14. 9. 2023
51. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, FishEUTrust annual meeting, Firenze, Italija, 8.–11. 10. 2023
52. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak, konferenca Prehranska dopolnila 2023, Ljubljana, 25. 10. 2023
53. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak in Matevž Ogrinc, Delavnica o uporabi orodja NutriBase, Ljubljana, 4. 12. 2023
54. Matevž Ogrinc, Student training for validation of RESPO X, Barcelona, Španija, 23.–28. 4. 2023
55. Matevž Ogrinc, 3rd Food Chemistry Conference, Dresden, Nemčija, 8.–13. 10. 2023 (1)
56. prof. dr. Gregor Papa, ECS Brokerage event, Bruselj, Belgija, 6.–8. 2. 2023
57. prof. dr. Gregor Papa, UP-SCALE-Urban Pioneers, Kranj, 1. 6. 2023
58. prof. dr. Gregor Papa, konferenca ITSC2023 in projektni sestanek CONDUCTOR, Bilbao, Španija, 23. 9.–1. 10. 2023 (1)
59. prof. dr. Gregor Papa, strateški dnevi IJS, Portorož, 7.–8. 11. 2023
60. prof. dr. Gregor Papa, projektni sestanek iRel40, Regensburg, Nemčija, 8.–9. 11. 2023
61. prof. dr. Gregor Papa in Jure Vreča, Chips for Europe, Bruselj, Belgija, 29. 11.–1. 12. 2023
62. prof. dr. Gregor Papa, dogodek Znanosti in inovacije, Rim, Italija, 4.–6. 12. 2023
63. prof. dr. Gregor Papa, Zaključna Skupščina Operacije SRIP PMiS, Ljubljana, 21. 12. 2023
64. Gašper Petelin, Konferenca PyCon/PyData 2023, Berlin, Nemčija, 16.–20. 4. 2023
65. dr. Drago Torkar, zaključni sestanek InSecTT, Gradec, Avstrija, 8.–12. 10. 2023
66. Jure Vreča, projektni sestanek DAIS, Stockholm, Švedska, 24.–27. 4. 2023
67. Jure Vreča, konferenca DDECS 2023, Tallin, Estonija, 2.–6. 5. 2023 (1)
68. Jure Vreča, konferenca Euromicro DSD 2023, Durrës, Albanija, 5.–8. 9. 2023 (1)
69. dr. Vida Vukašinović, projektni sestanek CONDUCTOR, Bilbao, Španija, 27.–30. 9. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Eva Valenčič: Univerza v Newcastlu, Newcastle, Avstralija, 20. 1. 2022–27. 1. 2023 (doktorsko izpopolnjevanje)
2. doc. dr. Tome Eftimov, Fakulteta za računalništvo in inženiring, Univerza sv. Cirila in Metoda, Skopje, Severna Makedonija, 23. 5.–7. 6. 2023
3. dr. Eva Valenčič: Univerza Wageningen, Wageningen, Nizozemska, 17. 10.–9. 11. 2023 (raziskovalno delo v sklopu projekta Comfocus)
4. dr. Eva Valenčič: Univerza v Newcastlu, Newcastle, Avstralija, 4.–15. 12. 2023 (traineeship)

Strokovni sodelavci

21. Robert Modic, dipl. inž. rač. in inf.
22. Matevž Ogrinc, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
23. Andraž Simčič, dipl. inž. rač. in inf. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

24. Jolanda Jakofčič
25. Tina Kondić
26. Andreja Vlašič, dipl. ekon. (VS)

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aarhus University, Aarhus, Danska
2. ArcelorMittal, Gijon, Asturias, Španija
3. Belit, d. o. o., Srbija
4. Cologne University of Applied Sciences, Cologne, Nemčija
5. Cosylab, d. d., Ljubljana, Slovenija
6. Denmark Technical University (DTU), Danska
7. Digital smart, d. o. o., Črna gora
8. Elaphe LAB, Ljubljana, Slovenija
9. ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rim, Italija
10. EuroFIR AISBL, Bruselj, Belgija
11. European Sustainable Energy Innovation Alliance, Gradec, Avstrija

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Anton Biasizzo
2. dr. Bojan Blažica*
3. *dr. Bojan Blažica, odšel 1. 7. 2023*
4. doc. dr. Tome Eftimov
5. prof. dr. Peter Korošec
6. prof. dr. Barbara Koroušić Seljak
7. **prof. dr. Gregor Papa, vodja odseka**
8. prof. dr. Veljko Pejović*
9. dr. Drago Torkar
10. dr. Vida Vukašinović

Podoktorski sodelavci

11. dr. Gordana Spirova
12. *dr. Marko Pavlin*, odšel 1. 12. 2023*
13. dr. Urban Škvorc
14. dr. Eva Valenčič

Mlajši raziskovalci

15. Margarita Antoniou, Msc. in Enviromental Protection and Sustainable Develop., Faculty of Eng., Hellenic Republic
16. Gjorgjina Cenikj, mag. inf. in kom. tehnologij
17. Rok Hribar, univ. dipl. fiz.
18. Ana Nikolikj, mag. inf. in kom. tehnol.
19. Gašper Petelin, mag. inž. rač. in inf.
20. Jure Vreča, mag. inž. el.

12. EXOTERM-IT, d. o. o., Kranj, Slovenija
13. Facebook AI Research, Pariz, Francija
14. Fakulteta za informacijske študije v Novem mestu, Računalništvo in informatika, Novo mesto, Slovenija
15. GoOpti, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
16. GS1 Slovenija, Ljubljana, Slovenija
17. Harvard University, Boston, ZDA
18. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija
19. Indian Institute of Technology Indore, Indija
20. Infineon Technologies AG, Regensburg, Nemčija
21. Infineon Technologies Austria, Beljak, Avstrija
22. Inštitut za nutricionistiko, Ljubljana, Slovenija
23. Kaliopa, d. o. o., Celje, Slovenija
24. Klemen Selakovic, s. p., Ljubljana, Slovenija
25. Leibniz University of Hanover: Institute for Artificial Intelligence LUHAI, Nemčija
26. LIT Transit, Trzin, Slovenija
27. MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
28. Movesense Ltd, Vantaa, Finska
29. Municipality of Miglierina, Calabria, Italija
30. National and Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
31. National Technical University of Athens, Atene, Grčija
32. Netcompany-Intrasoft, Peania, Grčija
33. NIJZ, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
34. Onkološki inštitut Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
35. PBM3, profesionalne biomehanske meritve in merilniki, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
36. PROVENTUS, računalniške storitve, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
37. Public Health Institution Health Center Tivat, Črna gora
38. Redinn s.r.l., Rim, Italija
39. Regional Development Fund of Central Macedonia Thessaloniki, Grčija
40. RISE Research Institutes of Sweden, Göteborg, Švedska
41. RTDS Group, Dunaj, Avstrija
42. Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko središče, Novo mesto, Slovenija
43. RWTH Aachen University, Aachen, Nemčija
44. Slovensko združenje za klinično prehrano, Ljubljana, Slovenija
45. Sorbonne University, Pariz, Francija
46. Special hospital Merkur, Vrnjačka Banja, Srbija
47. Splošna bolnišnica Novo mesto, Slovenija
48. Stellenbosch University, Stellenbosch, Južna Afrika
49. Nastavni zavod za javno zdravstvo, Split, Hrvaška
50. The Leiden University, Leiden, Nizozemska
51. The Quadram Institute, Norwich, Velika Britanija
52. The University of Newcastle, Newcastle, Avstralija
53. Tomas Bata University in Zlin, Faculty of Applied Informatics, Češka
54. TPV Automotive, d. o. o., Novo mesto, Slovenija
55. Trgovinska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
56. Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italija
57. University of Bergen, Bergen, Norveška
58. University of Florence, Firenze, Italija
59. Sveučilište u Splitu, Medicinski fakultet, Split, Hrvaška
60. University of Manchester, Manchester, Velika Britanija
61. University of Pittsburgh, Pennsylvania, ZDA
62. University of Surrey, Guildford, Velika Britanija
63. University of Texas at San Antonio, San Antonio, Teksas, ZDA
64. University of Turin, Turin, Italija
65. Univerza na Primorskem, Fakulteta za zdravstvene vede, Izola, Slovenija
66. Univerza sv. Cirila in Metoda, Fakulteta za informacijske znanosti in računalniško inženirstvo, Skopje, Severna Makedonija
67. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
68. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
69. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
70. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
71. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
72. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija
73. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
74. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
75. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
76. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, Slovenija
77. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, Slovenija
78. Univerza v Osijeku, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informacijsko tehnologijo, Osijek, Hrvaška
79. Univerzitetni klinični center, Pediatrična klinika, Ljubljana, Slovenija
80. Univerzitetni klinični center, Klinični inštitut za klinično nevrofiziologijo, Ljubljana, Slovenija
81. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije Soča, Ljubljana, Slovenija
82. Virtual Vehicle Research GmbH, Gradec, Avstrija
83. Wageningen University, Wageningen, Nizozemska
84. XLAB, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
85. Zavod zdravstvenog osigurenja i reosiguranja federacije Bosne i Hercegovine, Sarajevo, BiH
86. Zeroday, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
87. Zgodovinski inštitut Milka Kosa, ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija
88. Zveza potrošnikov Slovenije, Ljubljana, Slovenija

Področje dela Odseka za tehnologije znanja je razvoj metod umetne inteligence in drugih naprednih informacijskih tehnologij, ki podpirajo pridobivanje, upravljanje, modeliranje ter uporabo znanja in podatkov ter tako omogočajo na znanju temelječo družbo. Naše raziskave pokrivajo številna področja umetne inteligence, kot sta strojno učenje in obdelava naravnega jezika, zajemajo pa tudi druga področja, kot je podpora odločanju. Obsegajo pet stebrov: strojno učenje, podpora odločanju in umetna inteligenca, umetna inteligenca in znanost, jezikovne tehnologije in digitalna humanistika ter tehnologije znanja za družbo. Razvite tehnologije znanja uporabljamo na različnih področjih, od trajnostnega kmetijstva do personalizirane medicine in zdravstva, preko medijev, izobraževanja in umetnosti ter različnih industrijskih sektorjev, kot so energija, promet in vesoljske raziskave.



Vodja:
prof. dr. Sašo Džeroski

V letu 2023 smo bili vključeni v dva nacionalna raziskovalna programa (tehnologije znanja in kvantne tehnologije), dvajset nacionalnih projektov in trinajst EU projektov. Sodelovali smo tudi pri dveh infrastrukturnih projektih, enem aplikativnem in petih drugih mednarodnih projektih. Na odseku smo imeli tudi tri projekte mladih raziskovalcev, v okviru katerih so ti izvajali svoje doktorske raziskave.

Strojno učenje

Na tem področju smo predstavili CLUS_{PLUS} – odprtokodno orodje za strojno učenje, ki temelji na odločitvenih drevesih in je specializirano za kompleksne naloge prediktivnega modeliranja, ki podpira večciljno napovedovanje, tj. hkratno napovedovanje več kontinuiranih vrednosti, več diskretnih vrednosti in hierarhično organiziranih diskretnih vrednosti. Poleg tega CLUS_{PLUS} omogoča vrhunsko prediktivno zmogljivost z učenjem ansamblov, izkorišča neoznačene podatke s polnadzorovanim učenjem ter podpira razumevanje podatkov z ocenjevanjem pomembnosti značilnosti in gradnjo interpretabilnih modelov.

Na področju učenja reprezentacij v strojnem učenju smo razvili multimodalni AutoML pristop, ki temelji na evoluciji reprezentacij – članek smo objavili v reviji *Machine learning and knowledge extraction*. Nada Lavrač je imela dve predavanji s tega področja: *Learning representations for relational learning and literature-based discovery: keynote speech, 21st International Conference on Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2023 Portorož, Slovenia, June 12–15, 2023* ter *Strojno učenje iz relacijskih in tekstovnih podatkov: predstavljeno skupaj z M. Robnik Šikonjo na 31. Dnevih Jožefa Stefana na IJS 23. 3. 2023, Ljubljana, Slovenija*.

Nada Lavrač je imela vabljen predavanje *Learning representations for relational learning and literature-based discovery* na 21. Mednarodni konferenci Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2023, Portorož, Slovenija, 14. 6. 2023.

Podpora pri odločanju in umetna inteligenca

Na področju podpore pri odločanju razvijamo metode in tehnike odločitvenega modeliranja ter podporna računalniška orodja. Popolnoma smo prenovili naša programska orodja za kakovostno večkriterijsko modeliranje po metodi DEX in jih pod imenom *DEXi Suite* ponudili v brezplačno uporabo na spletni strani <https://dex.ijs.si/>. Skupaj s sodelavci Univerze v Beogradu (FON, Fakulteta za organizacijske vede) smo razvili novo metodo DIDEX za strojno učenje modelov DEX iz podatkov. Izvedli smo preliminarno raziskavo stabilnosti in konsistentnosti odločitvenih pravil, zajetih z metodo DEX.

Aplikativni del raziskav je potekal predvsem v okviru projekta SmartMOVE (*Pametne rešitve za trajnostno mobilnost v Sloveniji*, <https://kt.ijs.si/project/smartmove/>). Vrednotili smo učinke dinamičnih skupinskih prevozov zaposlenih na delovna mesta in pripravili metodologijo za podeljevanje certifikatov organizacijam, ki se posebej odlikujejo na področju trajnostne mobilnosti. Metode DEX in MAUT apliciramo tudi v okviru vrednotenja pilotnega testiranja v projektu UP-SCALE (Urban Pioneers – Systematic Change Amid Livable Environments). Z zamudo in letnico izida 2022 je bil objavljen članek z opisom sistema za podporo odločanju pri resnih nesrečah v jedrskih elektrarnah Severa, ki smo ga razvili v okviru projekta H2020 NARSIS.

Na področju razložljive umetne inteligence smo razvili in ovrednotili nove metode za ocenjevanje in rangiranje značilk v več različnih kontekstih. Sem spadajo nove metode za rangiranje značilk v kontekstu polnadzorovanega učenja na osnovi ansamblov dreves prediktivnega razvrščanja in družine algoritmov Relief. Razvrstitve značilk so bile naučene v kontekstu klasifikacije in regresije ter v kontekstu napovedovanja strukturiranih izhodov (klasifikacija z več oznakami, MLC, hierarhična klasifikacija z več oznakami, HMLC in večciljna regresija, MTR).

Jezikovne tehnologije in digitalna humanistika

Na teh področjih se ukvarjamo z obdelavo in razumevanjem naravnega jezika, analitiko besedil in omrežij, odprtimi jezikovnimi viri in digitalno humanistiko. Na področju obdelave in razumevanja naravnega jezika smo uspešno zaključili nacionalni projekt CANDAS (*Računalniško podprta večjezična analiza novinarskega diskurza s kontekstualnimi besednimi vložitvami*) in začeli delati na projektu EMMA (*Tehnike vektorskih vložitev za medijske aplikacije*), ki ga sofinancira podjetje Kliping, d. o. o. Analizirali smo medjezikovni prenos za prepoznavanje imenskih entitet, s poudarkom na južnoslovanskih jezikih. Primerjali smo uspešnost večjezičnih modelov in vpliv upoštevanja jezikovno sorodnih učnih podatkov ter pokazali, da lahko pri jezikih z manj viri vključitev podatkov iz sorodnih jezikov izboljša uspešnost modela v določenih kontekstih. Predlagali smo nove metode za predstavitev dokumentov, ki temeljijo na grafih. Naša skupina je razvila tudi inovativno metodo, ki uporablja nevronske mreže s samokodirnikom za pomoč novinarjem pri prepoznavanju ustreznih novic za prevajanje in lokalizacijo. Analizirali smo tudi, kako so se novinarski članki o mesu spreminjali skozi čas.

Uspešno smo zaključili projekt RobaCOFI (*Robustno in prilagodljivo filtriranje komentarjev*, financiran s strani programa Obzorje Evropa prek projekta AI4Media), ki zagotavlja vrsto programskih orodij za samodejno moderiranje vsebin, pri čemer smo uporabili transferno učenje za doseganje dobre učinkovitosti z malo ali brez označenih učnih podatkov. To se je povežalo z delom na področju analize sorodnih pojavov, kot so sovražni govor, mizoginija in seksizem v besedilu, ki zajema gradnjo leksikonov z razlagalnimi metodami in izboljšanje klasifikatorjev z novimi aktivacijskimi funkcijami za mehko in trdo napovedovanje oznak. V sodelovanju z Mirovnim inštitutom smo nadaljevali delo pri projektu SOVRAG (Sovražni govor v sodobnih konceptualizacijah nacionalizma, rasizma, spola in migracij). Raziskovali smo družbene pristranosti v velikih jezikovnih modelih različnih jezikov, analizirali politična nagnjenja v slovenskih parlamentarnih razpravah o migracijah z uporabo razlagalnih metod računalniškega jezikoslovja – članek je prejel nagrado za najboljši študentski prispevek na konferenci LTC 2023 v Poznanu – in predstavili nove metode za analizo besedil, povezanih z LGBTQ+ in migracijami.

Nadaljevali smo delo na dveh slovenskih temeljnih raziskovalnih projektih, oba pod vodstvom ZRC SAZU, in sicer *Formantna kombinatorika v slovenščini*, kjer smo se ukvarjali z avtomatizacijo proučevanja besedotvornih procesov v slovenščini, in pri projektu *Paremiološke enote v dialogu s sodobno rabo*, kjer smo objavili novo

različico zbirke paremiološke enote. V okviru projekta *Razvoj slovenščine v digitalnem okolju* smo uspešno zaključili nalogo na področju luščenja terminologije, s katero smo prispevali k razvoju slovenskega terminološkega portala (<https://terminoloski.slovenscina.eu/>), ki vsebuje modul za avtomatsko luščenje terminov. Ocenili smo tudi več metod za luščenje definicij in predlagali nov nabor podatkov za njihovo ocenjevanje.

Razvili in izboljšali smo splošne modele za obdelavo naravnega jezika na različnih ravneh in stopnjah granularit. Na ravni stavkov smo razvili modele za podrobne semantične modele za pretvorbo besedila v vmesnikih za poizvedbe SQL. Za večje podatkovne zbirke z več šuma pa smo razvili splošnejše modele za segmentacijo in poizvedovanje, ki smo jih preizkusili na podatkih podkastov in radijskih oddaj: razvili smo nove nevronske kodirnike za segmentacijo tematik na različnih področjih, raziskali, kako pošteno primerjati in oceniti modele segmentacije, ter pokazali, da je metode mogoče razširiti na podatke, ki so samo zvočni, in multimodalne zvočno-besedilne podatke. To obsežno delo je bilo uporabljeno pri analizi velikih arhivov elektronske pošte v organizacijah ter je privedlo do modelov porazdeljenega organizacijskega odločanja in spoznanj o upravljanju povratnih informacij ter poročanju napak v velikih organizacijah. V tem delu smo proučevali tudi kognitivne vidike prek analize povezanosti jezikovnih značilnosti komunikacije po elektronski pošti z avtorjevim vplivom v organizaciji in raziskovali, kako uporabniki zaznavajo družbeno identiteto interaktivnih robotov.

Razvili smo tudi nove metode za razpoznavanje pomenov besed, ko razpolagamo z malo jezikovnimi viri, in jih ovrednotili na primeru besedil budističnega sanskerta [COBISS.SI-ID 158816259]. Prispevali smo tudi k razvoju korpusa učbenikov za poučevanje slovenščine kot tujega in drugega jezika ter k viru slovenskega jedrnega besedišča z označenimi ravnmi znanja po CEFR (*Skupni evropski referenčni okvir za jezike*). Sodelovali smo pri dveh bilateralnih projektih. V okviru projekta PROTEUS z Univerzo La Rochelle smo se posvečali luščenju terminologije, v okviru



Slika 1: Nada Lavrač in Marko Robnik Šikonja sta na 31. Dnevih Jožefa Stefana na IJS 23. marca 2023 predstavila svoje dosežke v okviru vabljenega predavanja *Strojno učenje iz relacijskih in tekstovnih podatkov*.

bilateralnega projekta z Univerzo Johns Hopkins pa smo analizirali velike jezikovne modele z vidika delovnega spomina. Začeli smo delati pri projektu *Jezikovna dostopnost pravic socialnega varstva v Sloveniji*, ki ga vodi Pravna fakulteta.

V okviru 17. conference EACL (Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics) smo organizirali 9. delavnico o obdelavi naravnega jezika za slovanske jezike (Slavic Natural Language Processing) in 10. delavnico o obdelavi naravnega jezika za jezikovne različice in dialekte (VarDial Workshop on Natural Language Processing for Varieties and Dialects). Orodje Clowdfloows smo obogatili z nekaj novimi primeri uporabe s področja digitalne humanistike in nadaljevali s promocijo orodja v tej raziskovalni domeni.

V okviru evropskega projekta MaCoCu (Massive Collection and Curation of Monolingual and Bilingual Data: Focus on Under-resourced Languages) smo objavili drugi sklop razširjenih enojezičnih zbirk besedil, pridobljenih s spleta, ki zajemajo slovensko, hrvaško, makedonsko, bolgarsko, turško, malteško, islandsko, bosansko, črnogorsko, albansko in katalonsko zbirko besedil. Za večino jezikov so to največje zbirke besedil doslej, poleg tega pa so zelo uporabne za gradnjo velikih jezikovnih modelov. Objavili smo tudi nove različice velikih jezikovnih modelov, med katerimi jih večina dosega najboljše rezultate pri izboru nalog s področja razumevanja naravnega jezika (<https://huggingface.co/MaCoCu>). Skupaj z enojezičnimi zbirkami smo objavili tudi nove različice vzporednih zbirk besedil v naslednjih jezikovnih parih: slovensko-angleški, hrvaško-angleški, makedonsko-angleški, bolgarsko-angleški, turško-angleški, malteško-angleški, islandsko-angleški, bosansko-angleški, črnogorsko-angleški, albansko-angleški in katalonsko-angleški. V okviru obogatitve zajetih besedil smo objavili pregled literature za identifikacijo žanra in razvili novo referenčno vrednotenje za razlikovanje med podobnimi jeziki.

Zaključili smo delo na projektu *Kvantitativna in kvalitativna analiza nereguliranih delov finančnega poročanja podjetij*, ki ga je vodila Ekonomska fakulteta Univerze v Ljubljani, kjer smo proučevali različne metode večiljnega učenja za klasifikacijo finančnih besedil s poudarkom na finančnem sentimentu, objektivnosti in napovedovanju stavkov, ki se nanašajo na prihodnost in zaznavanje ESG-vsebin, ter analizirali kontekstualne razlike terminov v letnih poročilih v odvisnosti od uspešnosti podjetij.

Na področju *odprtih jezikovnih virov* vodimo CLARIN.SI, slovensko nacionalno vozlišče evropske raziskovalne infrastrukture CLARIN ERIC, ki omogoča enostavno objavo in trajnosten dostop do digitalnih jezikovnih podatkov za znanstvenike s področja humanistike in družboslovja ter drugih strok, ki uporabljajo ali proizvajajo jezikovne vire. CLARIN.SI vzdržuje CTS certificirani repozitorij jezikovnih virov, spletna konkordančnika in druge spletne storitve ter podpira ustvarjanje jezikovnih virov in promocijo digitalnega jezikoslovja.

CLARIN.SI je organiziran kot konzorcij partnerskih institucij, ki združuje vse slovenske univerze (UL, UM, UNG, UP), tri raziskovalne inštitute (ZRC SAZU, IJS, INZ, ZRS Koper), dve podjetji (Amebis, Alpineon) in Slovensko društvo za jezikovne tehnologije. V letu 2023 je iz konzorcija izstopila Trojina, zavod za uporabno slovenistiko, pridružil pa se mu je NUK. V letu 2023 je Upravni odbor konzorcija potrdil Strategijo CLARIN.SI za obdobje 2024–2030.

Glavna storitev CLARIN.SI je vzdrževanje in urejanje (pregledovanje vnosov) repozitorija jezikovnih virov in programske opreme, ki je vpet v mrežo repozitorijev CLARIN. V letu 2023 je bilo v repozitorij CLARIN.SI oddanih, pregledanih in sprejetih v objavo 69 novih virov, od tega 40 za slovenski jezik. Ob koncu leta 2023 je repozitorij tako vseboval 589 vnosov, od tega 256 za slovenski jezik. Druga pomembna storitev infrastrukture so konkordančniki CLARIN.SI, tj. spletne storitve za analizo korpusov. Leta 2023 smo posodobili konkordančnik noSketch Engine in instalirali različico s prijavo, ki omogoča dodatne funkcionalnosti. Na konkordančnikih smo posodobili oziroma na novo dodali 85 korpusov, s čimer so konkordančniki konec leta 2023 omogočali dostop do 238 korpusov. CLARIN.SI ponuja tudi dve instanci spletne platforme za kontroliran razvoj programske opreme in virov Git, in sicer lastno instalacijo GitLab, ki je ob koncu leta 2023 vseboval 12 repozitorijev, ki večinoma zajemajo programsko opremo, povezano z delovanjem naše infrastrukture. Na platformi GitHub ponujamo virtualno organizacijo CLARIN.SI, kjer je bilo v letu 2023 vzpostavljenih 20 novih repozitorijev (skupno 113 repozitorijev ob koncu leta 2023). V letu 2023 smo dodali tudi tri nove spletne storitve. Prvi dve sta rezultat projekta MK *SLOKIT Nadgradnja CLARIN.SI: Korpusni informator in besedilni analizador* (2022–2023), in sicer *Stavčno poenostavljanje in analiza SENTA* ter *Osnovni pregled rabe besed KORPUSNIK*, tretja pa rezultat projekta *Razvoj slovenščine v digitalnem okolju* in centra znanja CLASSLA, in sicer *Orodje za jezikoslovno označevanje CLASSLA*.

CLARIN.SI, skupaj z bolgarskim centrom CLARIN, upravlja s CLARIN certificiranim centrom znanja (K-Centre) CLASSLA za pomoč pri računalniškem procesiranju južnoslovanskih jezikov. Leta 2023 so bili v okviru CLASSLA izdelani spletni korpusi CLASSLA-web za vse južnoslovanske jezike (7 jezikov, 11 milijard besed), kjer so besedila označena z žanri, jezikoslovno oznake pa dodane z najnovejšim orodjem za označevanje besedil CLASSLA-Stanza. Ta je bil naučen na posodobljenih ročno označenih podatkih za hrvaščino, srbsščino in makedonščino.

Sodelavci odseka so prispevali k javni razpravi o umetni inteligenci s spletnim prispevkom *Let's focus on AI's tangible risks rather than speculating about its potential to pose an existential threat* na sestanku odbora združenja ELLIS.



*Slika 2: Nada Lavrač je imela vabljeno predavanje *Learning representations for relational learning and literature-based discovery* na 21. mednarodni konferenci *Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2023* Portorož, Slovenija, 14. 6. 2023. Na konferenci je bilo registriranih 210 udeležencev.*

CLASSLA je sodeloval tudi pri projektu ParlaMint izdelave korpusov parlamentarnih razprav, kjer je prispeval hrvaški, bosanski in srbski korpus. Ovrdenoteni so bili tudi veliki jezikovni modeli za več narečij (idrijsčina, čakavščina, torlaščina). Posodobljeni so bili sezname pogostih vprašanj z informacijami o dostopnih jezikovnih virih in tehnologijah za slovenski, hrvaški, srbski, makedonski in bolgarski jezik.

CLARIN.SI od leta 2018 letno objavlja razpise za projekte izdelave ali nadgradnje virov in storitev, ki pripomorejo k uresničevanju usmeritev infrastrukture CLARIN. Leta 2023 je bilo v financiranje sprejetih šest projektov, od katerih so bili vsi tudi uspešno zaključeni.

CLARIN.SI je leta 2023 sodeloval pri več projektih. V okviru projekta MK *Razvoj slovenščine v digitalnem okolju* (RSDO) smo vodili delovni sklop DS6, kjer smo preverjali in pretvarjali izdelane vire projekta za deponiranje v repozitorij CLARIN.SI in za vključitev v konkordančnike infrastrukture. Leta 2023 so bili objavljeni še zadnji korpusi projekta, ki je bil tudi uspešno zaključen. CLARIN.SI je sodeloval tudi v uspešno zaključenem projektu CLARIN ERIC ParlaMint II, kjer smo vodili več delovnih sklopov, med drugim infrastrukturo projekta, za zbiranje korpusov in za dodajanje metapodatkov. V letu 2023 smo objavili zbirko 29 korpusov evropskih držav in avtonomnih pokrajin *Multilingual comparable corpora of parliamentary debates*

ParlaMint 4.0 z več kot milijardo besed, korpusa pa tudi strojno prevedli v angleščino ter te vire deponirali v repozitorij CLARIN.SI in integrirali v konkordančnike infrastrukture. Korpusi so bili že uporabljeni za več raziskav in so bili tudi osnova za eno od nalog na Digital Humanities Hackathon 2023 v Helsinkih. Posredno smo sodelovali tudi z evropskimi projekti, ki so oddali svoje rezultate v naš repozitorij, npr. MaCoCu, INTAVIA, EMBEDDIA, ter pri slovenskih projektih, npr. MEZZANINE (*Razvoj govornih virov in tehnologij za slovenščino*) in PoVeJMo (*Prilagodljiva obdelava naravnega jezika s pomočjo velikih jezikovnih modelov*).

Podprli smo več dogodkov v Sloveniji, ki so povezani s poslanstvom CLARIN, glavni je bil 3⁴ *EUROPEAN SUMMER SCHOOL IN LOGIC, LANGUAGE AND INFORMATION* (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, 31. 7.–11. 8. 2023), in štiri predavanja JOTA (Jezikovnotehnološki abonma) na FRI. Uredili smo tudi posebno izdajo revije *Slovenščina 2.0*, v kateri so zbrani razširjeni prispevki najbolje ocenjenih predstavitev z mednarodne konference *Jezikovne tehnologije in digitalna humanistika*, ki je potekala leta 2022 v Ljubljani.

Izvedli smo več predstavitev, povezanih z delovanjem CLARIN.SI, in sicer na Lingvističnem krožku Filozofske fakultete v Ljubljani, na Dnevih odprte znanosti 2023 in na *Digital Humanities Conference* (Gradeč) ter tečaja na ZRC SAZU in NUK (izobraževanje knjižničarjev). Del promocije delovanja infrastrukture je bila tudi ustanovitev računov CLARIN.SI na platformah Discord (zdaj več kot 80 članov) in na LinkedIn. Še naprej objavljamo novice na CLARIN.SI računu platforme X (nekdanji Twitter).

Intenzivno smo sodelovali pri delu CLARIN ERIC. Tomaž Erjavec, nacionalni koordinator CLARIN.SI, je sodeloval na sestankih nacionalnih koordinatorjev in na sestankih *CLARIN Strategy and Management Board*, v katerega je bil izvoljen leta 2022. Ker je bil leta 2022 predsednik programskega odbora letne konference CLARIN, je bil leta 2023 sourednik zbornika *Selected papers from the CLARIN Annual Conference 2022*. Na konferenci CLARIN 2023 (Leuven) so bili slovenski raziskovalci (so)avtorji 10 prispevkov oziroma predstavitev. Slovenski raziskovalci so sodelovali v delovnih skupinah CLARIN ERIC, in sicer v skupini za razvoj standardov zapisa jezikovnih virov, za Pravna vprašanja, za Uporabniška vprašanja in za Tehnične centre.

Tehnologije znanja in družba

Na področju kmetijstva, okolja in trajnosti smo bili vključeni v več projektov, kjer smo z metodami za podatkovno rudarjenje in podporo odločanju razvili napovedne in odločitvene modele za podporo razvoju trajnostnega kmetijstva in prehranskih sistemov.

V projektu Obzorje 2020 IPM Decisions (*Povečanje vpliva sistemov za podporo odločanju za integrirano varstvo rastlin*) smo objavili znanstveni članek o preprekah, ki jih prepoznavajo uporabniki sistemov za podporo odločanja v integriranem varstvu rastlin in v kmetijstvu. Med glavne razloge spadajo pomanjkanje zaupanja v DSS, občutek uporabnikov, da imajo premalo znanja o računalništvu, in premalo dostopnih informacij o dostopnih DSS. Objavljene rezultate smo uporabili pri končnem oblikovanju spletne aplikacije IPM Adviser (<https://ipmadviser.ijs.si/>), s katero poskušamo nasloviti in hkrati odpraviti večino odkritih ovir. Glavni cilj aplikacije IPM Adviser je, da uporabnikom omogoča enostavno iskanje in primerjanje 80 sistemov za podporo odločanju v integriranem varstvu rastlin. Aplikacijo smo aktivno povezali s platformo IPM Decisions (<https://www.platform.ipmdecisions.net/>). Naš cilj je, da bo aplikacija postala glavna platforma za DSS na področju varstva rastlin v Evropi.

Pri projektu Obzorja 2020 COCOREADO (*Uravnoteženje povezav med pridelovalci in potrošniki s pomočjo ambasadorjev izobraževanja*) smo nadaljevali z zbiranjem in strukturiranjem obstoječih sistemov za podporo odločanja pri procesu oblikovanja poslovnih modelov za mala in inovativna podjetja ter kmetije, ki vstopajo na evropski trg s hrano. Razvili smo tipologijo, na podlagi katere smo ocenili 134 DSS s področja agrarne ekonomike in izmed njih izbrali šest najprimernejših DSS ter jih predstavili potencialnim uporabnikom. Na področju razvoja sistema za podporo odločanju pri javnih naročilih smo v sodelovanju z občino Laško in Lokalno akcijsko skupino Razvoj Podeželja nadaljevali z razvojem koncepta. Na delavnicah in delovnih sestankih smo uskladjali glavne uporabniške funkcionalnosti DSS, hkrati pa smo z magistrsko nalogo z naslovom Javno naročanje kot vzvod razvoja lokalne skupnosti pridobili vse potrebno teoretično znanje s področja javnih naročil in potrebnega upravnega postopka. DSS bo uporabnikom zagotavljal sinergijske učinke investicij javnih finančnih sredstev v razvoj trajnostne pridelave in uporabe hrane na občinski in regijski ravni.

Pri projektu Obzorja RADIANT (*Vpeljava dinamičnih verig vrednosti pridelave zapostavljenih poljščin*) smo nadaljevali z razvojem novega metodološkega pristopa analize dinamičnih oskrbovalnih verig pri zapostavljenih poljščinah. Izvedli smo delavnice s sedmimi predstavniki izbranih podjetij in kmetij ter zanje izdelali business brifs, ki bodo nato vključeni v njihov poslovni model. Posamezne module sistema za podporo odločanju pri iskanju poti do trga smo validirali in pripravili za vgradnjo v DSS.

Pri COST projektu EUdaphobase (*Evropsko skladišče podatkov o biologiji tal za varstvo tal*) smo izvedli obsežno raziskavo o stanju podatkov, razpoložljive raziskovalne infrastrukture in raziskovalnih dejavnosti v 15 državah Balkana. Rezultati bodo objavljeni v znanstvenem članku za revijo *Applied Soil Ecology* in v magistrski nalogi z naslovom Biodiverziteta tal Balkanskega polotoka: razpoložljivost in dostopnost podatkov. Izvedli smo tudi obsežno analizo zahtev uporabnikov podatkovne zbirke Edaphobase na ravni celotne Evrope. Rezultati bodo ravno tako objavljeni v reviji *Applied Soil Ecology*.

Pri projektu Obzorja BENCHMARKS v okviru projekta BENCHMARKS (*Oblikovanje evropske mreže za spremljanje stanja tal za potrebe raziskav in pridobivanje novega znanja*) smo izvedli različne analize besedil, da bi pridobili potrebno znanje za razvoj sistema za ocenjevanje zdravja tal. Za analizo ankete o ciljih in vsebinah, ki zanimajo zainteresirane deležnike, smo razvili relacijske podatkovne zbirke za shranjevanje tabelarnih podatkov in uporabili različne metode strojnega učenja, vključno z ekstrakcijo fraz, izračunom podobnosti, modeliranjem tem, zmanjšanjem dimenzionalnosti, primerjavo rangiranja in analizo LLM. Uporabljene so bile tehnike vizualizacije, kot so tabele, grafikoni, razpršene slike in besedni oblaki, izbrani rezultati pa so bili samodejno združeni v strukturirana poročila. Zasnovan in razvit je bil tudi uporabniški vmesnik za primerjavo podatkov in rezultatov med delavnicami ter za poizvedovanje po rezultatih in podatkih z uporabo LLM. Pri pripravi kataloga praks gospodarjenja s tlemi smo razvili postopek, ki LLM izkorišča za pridobivanje uporabnega znanja iz znanstvene literature. Konkretno smo se osredotočili na zbiranje dokumentiranih učinkov praks upravljanja zemljišč na talno bioto. Razvoj metodologije še poteka, so pa prvi pridobljeni rezultati zelo obetavni.

Naše delo na področju uporabe obdelave naravnega jezika v kontekstu dobrega počutja in duševnega zdravja vključuje razvoj pristopov za samodejno odkrivanje depresije iz vsebin družbenih medijev. Preizkusili smo več globalnih modelov in modelov, ki temeljijo na arhitekturi transformer, ter različne tehnike združevanja njihovih rezultatov; razvili smo tudi nove modele za longitudinalno spremljanje jezika ljudi z demenco. Z analizo nevronske mreže na grafih ponudimo nov vpogled v zapleteno dinamiko možganske aktivnosti na sintetičnem naboru podatkov EEG, ki smo ga oblikovali za raziskovanje kompleksnih interakcij možganskih oscilacij.

V letu 2023 se je začel tudi projekt DIGITOP, katerega glavni cilj je uvajanje naprednih digitalnih tehnologij, kot so robotika, umetna inteligenca in informacijsko-komunikacijske tehnologije, v proizvodna podjetja za avtomatizacijo in optimizacijo proizvodnih procesov. Pri projektu se ukvarjamo z dvema nalogama: napovedovanjem in upravljanjem porabe energije proizvodnih procesov ter zajemanjem, formalizacijo in digitalizacijo veččin procesnih operaterjev.

Na področju *uporabe tehnologij znanja za izobraževanje* smo nadaljevali sodelovanje z Univerzo v Novi Gorici in objavili rezultate proučevanja, kako lahko z analitiko podatkov spremljamo, spodbujamo in izboljšamo aktivno učenje. Med opazovanim učnim procesom so študenti komunicirali na družbenem omrežju Mastodon, od



Sašo Džeroski je bil sopredsednik programskega odbora prve Evropske poletne šole umetne inteligence (ESSAI) in 28. Naprednega tečaja umetne inteligence, posvečenega tematiki umetne inteligence za znanost. Skupni dogodek je potekal pod častnim pokroviteljstvom predsednice Slovenije, udeležilo pa se ga je več kot 500 udeležencev iz več kot 40 držav.

Člani odseka so sodelovali pri organizaciji Prve evropske poletne šole o umetni inteligenci (ESSAI) in 20. naprednega tečaja o umetni inteligenci (ACAI) v Ljubljani, 24.-28. julij 2023.

koder smo izluščili in analizirali podatke o njihovih objavah in interakcijah, kar je odprlo nove možnosti dialoga med njimi in profesorji. Delo je bilo predstavljeno v poglavju knjige, ki je izšla pri založbi Springer.

Tehnologije znanja smo uporabili tudi za probleme iz industrije, s poudarkom na vesoljskem sektorju, zlasti na uporabi strojnega učenja za operacije vesoljskih plovil in opazovanje Zemlje. V okviru operacij vesoljskih plovil se osredotočamo na napovedovanje porabe toplotne moči vesoljskega plovila MarsExpress na vseh njegovih 33 termalnih močnostnih linijah. Prediktivne modele učimo iz toka njegovih telemetrijskih podatkov, pri čemer gre za naloge večciljne regresije na podatkovnih tokovih. Preiskujemo učinkovitost lokalnih in globalnih modelov, vpliv časovne resolucije meritev in uspešnost metod pri zaznavanju in prilagajanju spremembam. V kontekstu opazovanja Zemlje smo izvedli eksperimentalno analizo metod za večoznačno klasifikacijo senzorskih slik daljinskega zaznavanja. Primerjali smo več priljubljenih pristopov globokega učenja na podlagi dveh načinov delovanja: pri prvem se uporabljajo kot ekstraktorji značilnosti v kombinaciji z metodami ansamblov dreves, kot so naključni gozdovi in ekstra drevesa, pri drugem pa se uporabljajo kot pristopi od konca do konca za neposredno obravnavanje naloge MLC. Nato smo predlagali AiTLAS – odprtokodno, najnovejše orodje za raziskovalno in prediktivno analizo satelitskih slik. Implementiramo vrsto arhitektur in modelov globokega učenja, prilagojenih za različne naloge opazovanja Zemlje, vključno s klasifikacijo prizorov slik, semantičnim segmentiranjem slik, zaznavanjem objektov in napovedovanjem vrst pridelkov. Poleg tega smo predstavili AiTLAS: Benchmark Arena – odprtokodni nabor orodij za ocenjevanje najnovejših pristopov globokega učenja za klasifikacijo slik v opazovanju Zemlje. V ta namen predstavljamo obsežno primerjalno analizo več kot 500 modelov, izpeljanih iz desetih različnih najnovejših arhitektur, in jih primerjamo z različnimi nalogami klasifikacije z več razredi in več oznakami iz 22 podatkovnih zbirk različnih velikosti in lastnosti. Končno smo raziskali uporabnost samonadzorovanega predhodnega usposabljanja modelov vida v domeni za analizo slik oddaljenih senzorjev z izvedbo obsežne študije različnih strategij samonadzorovanega predhodnega usposabljanja in ocenjevanjem njihovega učinka na 14 nadaljnjih podatkovnih zbirkah z raznolikimi lastnostmi. Naši rezultati kažejo, da uporaba velikih podatkovnih zbirk v domeni za samonadzorovano predhodno usposabljanje dosledno vodi do izboljšane prediktivne učinkovitosti v nadaljevanju, v primerjavi s standardnimi pristopi, najdenimi v praksi.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Ana Kostovska, Diederick Vermetten, Carola Doerr, Sašo Džeroski, Panče Panov, Tome Eftimov, *OPTION : OPTImization algorithm benchmarking ONtology*, *IEEE transactions on evolutionary computation*, 2023, 27, 6, 1618–1632, DOI: 10.1109/TEVC.2022.3232844
2. Jure Brence, Sašo Džeroski, Ljupčo Todorovski, Dimensionally-consistent equation discovery through probabilistic attribute grammars, *Information sciences*, 2023, 632, 742–756, DOI: 10.1016/j.ins.2023.03.073
3. Sandro Radovanović, Marko Bohanec, Boris Delibašić, Extracting decision models for ski injury prediction from data, *International transactions in operational research*, 2023, 30, 6, 3429–3454, DOI: 10.1111/itor.13246
4. Ivica Dimitrovski, Ivan Kitanovski, Dragi Kocev, Nikola Simidjievski, Current trends in deep learning for Earth observation: an open-source benchmark arena for image classification, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2023, 197, 18–35, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.01.014
5. Tomaž Erjavec, Maciej Ogrodniczuk, Petja Osenova, Nikola Ljubešić, Kiril Simov, Andrej Pančur, Michał Rudolf, Matyáš Kopp, Darja Fišer, *et al.*, The ParlaMint corpora of parliamentary proceedings, *Language resources and evaluation*, 2023, 57, 415–448, DOI: 10.1007/s10579-021-09574-0
6. Nikola Ljubešić, Igor Mozetič, Petra Kralj Novak, Quantifying the impact of context on the quality of manual hate speech annotation, *Natural language engineering*, 2023, 29, 6, 1481–1494, DOI: 10.1017/S1351324922000353
7. Žiga Kokalj, Sašo Džeroski, Ivan Šprajc, Jasmina Štajdohar, Andrej Draksler, Maja Somrak, Machine learning-ready remote sensing data for Maya archaeology, *Scientific data*, 2023, 10, 558, DOI: 10.1038/s41597-023-02455-x
8. Blaž Škrlič, Matej Bevec, Nada Lavrač, Multimodal AutoML via representation evolution, *Machine learning and knowledge extraction*, 2023, 5, 1, 001, DOI: 10.3390/make5010001
9. Taja Kuzman Pungeršek, Nikola Ljubešić, Igor Mozetič, Automatic genre identification for robust enrichment of massive text collections: investigation of classification methods in the era of large language models, *Machine learning and knowledge extraction*, 2023, 5, 3, 1149–1175, DOI: 10.3390/make5030059
10. Matej Petković, Sašo Džeroski, Dragi Kocev, Feature ranking for semi-supervised learning observations, *Machine learning*, 2023, 112, 4379–4408, DOI: 10.1007/s10994-022-06181-0
11. Sebastian Mežnar, Sašo Džeroski, Ljupčo Todorovski, Efficient generator of mathematical expressions for symbolic regression, *Machine learning*, 2023, 112, 4563–4596, DOI: 10.1007/s10994-023-06400-2
12. Jure Brence, Dragan Mihailović, Viktor V. Kabanov, Ljupčo Todorovski, Sašo Džeroski, Jaka Vodeb, Boosting the performance of quantum annealers using machine learning, *Quantum machine intelligence*, 2023, 5, 1, 4, DOI: 10.1007/s42484-022-00092-y

Nagrade in priznanja

1. Marko Bohanec: priznanje za najboljši referat na konferenci CECIS 2023 (https://kt.ijs.si/MarkoBohanec/pub/2023_CECIS_Aurora_BestPaper.pdf)
2. Boshko Koloski, Perdih Stepišnik, Timen Robnik, Marko Šikonja, Senja Pollak, Blaž Škrli: Odlični v znanosti 2023 (področje jezikoslovje), podeljeno s strani ARIS za *Knowledge graph informed fake news classification via heterogeneous representation ensembles. Neurocomputing*. ISSN 0925-2312 Jul. 2022, zv. 496, str. 208–226
3. Bojan Evkoski: prispevek: *XAI in Computational Linguistics: Understanding Political Orientations in the Slovenian Parliament* v soavtorstvu s Senjo Pollak, nagrada za najboljši študentski prispevek na konferenci LTC'23 – 10th Language & Technology Conference: Human Language Technologies as a Challenge for Computer Science and Linguistics, 21.–23. 4. 2023, Poznań, Poland

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. prof. dr. Sašo Džeroski: Simpozij AAAI 2023 Spring Symposium Series. Palo Alto, Kalifornija, 27.–29. 3. 2023
2. prof. dr. Sašo Džeroski: Prva Evropska poletna šola iz umetne inteligence in Dvajseta napredna šola iz umetne inteligence (ESSAI & ACAI 2023). Ljubljana, Slovenija, 24.–28. 7. 2023
3. prof. dr. Sašo Džeroski: Dagstuhl Seminar: Space and Artificial Intelligence Dagstuhl. Schloss Dagstuhl, Nemčija, 12.–17. 11. 2023
4. Boštjan Gec, Sebastian Mežnar: 15. Mednarodna konferenca podiplomskih študentov Jožefa Stefana, Kamnik, 31.–2. 6. 2023
5. Tajna Kuzman: Delavnica o odprtem strojnem prevajanju, ki ga vodi skupnost (CrowdMT 2023), na 24. letni konferenci Evropskega združenja za strojno prevajanje (EAMT) 2023, Tampere, Finska, 15. 6. 2023
6. Nina Omejc: SINAPSA konferenca nevroznanosti '23, Ljubljana, 28.–30. 9. 2023
7. Senja Pollak: 9th Workshop on Slavic Natural Language Processing 2023 (SlavicNLP), collocated with EACL (The 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics), Dubrovnik, Hrvatska, 6. 5. 2023

MEDNARODNI PROJEKTI

1. INEA/CEF - MaCoCu; Obsežno zbiranje in kuriranje eno- in dvojezičnih podatkov s poudarkom na manj podprtih jezikih
Innovation and Networks Executive Agency (INEA)
dr. Nikola Ljubešić
2. ParlaMint II - K primerljivim parlamentarnim korpusom
CLARIN ERIC
prof. dr. Tomaž Erjavec
3. COST CA18237; Eudaphobase - Evropska zbirka talnih bioloških podatkov za varstvo tal
COST Association AISBL
prof. dr. Marko Debeljak
4. H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti
European Commission
prof. dr. Nada Lavrač
5. H2020 - HECAT; Uporaba prebojnih tehnologij za podporo pri upravljanju s trgov deli
European Commission
prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
6. H2020 - TAILOR; Temelji umetne inteligence vredne zaupanja, vključno z učenjem, optimizacijo in sklepanjem
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
7. H2020 - COCOREADO; Uravnoteženje povezav med pridelovalci in potrošniki s pomočjo ambasadorjev izobraževanja
European Commission
prof. dr. Marko Debeljak
8. H2020 - RADIANT; Vpeljava dinamičnih verig vrednosti pridelave redko gojenih poljščin
European Commission
prof. dr. Marko Debeljak
9. RobaCOFI; H2020 - AI4Media; Robustno in prilagodljivo filtriranje komentarjev
European Commission
Matthew Richard John Purver, PhD.
10. Evalvacija jezikovnih modelov obsega na osnovi delovnega spomina
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Senja Pollak
11. Čezjezikovne in čezdomenske metode za luščenje in poravnavo terminologije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Senja Pollak
12. OE - PARC; Partnerstvo za oceno tveganj zaradi kemikalij
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
13. OE - INQUIRE; Prepoznavanje kemičnih in bioloških determinant, njihovih virov in strategij za promocijo bolj zdravih domov v evropskem prostoru
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
14. OE - ASSAS; Umetna inteligenca za simulacijo hudih jedrskih nesreč
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
15. OE - BENCHMARKS; Izgradnja Evropske mreže za opisovanje in usklajevanje pristopov spremljanja raziskav in znanja o tleh
European Commission
prof. dr. Marko Debeljak
16. OE - OppAttune; Boj proti opozicijskemu političnemu ekstremizmu z usklajenim dialogom: Slediti, prilagoditi, omejiti
European Commission
prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
17. OE - TRUSTroke; Zaupanja vredna umetna inteligenca za izboljšanje izidov po možganski kapi
European Commission
dr. Dragi Kocov
18. OE - ELIAS; Evropski svetilnik umetne inteligence za trajnost
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
19. EIT Climate-KIC; UP SCALE - Pionirji Urbanizma - Sistemske spremembe v urbanem okolju
CINEA - European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
doc. dr. Martin Žnidaršič
20. OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
21. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Marko Debeljak

22. COST CA18237; E-COST-GRANT-CA18237-f1232c5c - Biotska raznovrstnost tal Balkanskega polotoka: razpoložljivost in dostopnost podatkov preko podatkovnega skladišča Edaphobase
COST Association AISBL
prof. dr. Marko Debeljak
23. COST CA22154; DAEMON - Odprto omrežje za podatkovno vodene aplikacije usmerjene v inženiring funkcionalnih materialov
COST Association AISBL
prof. dr. Sašo Džeroski

PROGRAMA

1. Tehnologije znanja
prof. dr. Sašo Džeroski
2. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Jure Brence

PROJEKTI

1. Jezikovna krajina sovražnega govora na družbenih omrežjih
prof. dr. Tomaž Erjavec
2. Kvantitativna in kvalitativna analiza nereguliranih delov finančnega poročanja podjetij
doc. dr. Senja Pollak
3. Tradicionalne paremiološke enote v dialogu s sodobno rabo
prof. dr. Tomaž Erjavec
4. Ciljana mutageneza s CRISPR/CAS9 za odpornost vinske trte in krompirja proti fitoplazmam
prof. dr. Nada Lavrač
5. Določanje izvora jetrnih zasevkov iz tekočinskih biopsij
prof. dr. Sašo Džeroski
6. Aplikacija sekvenciranja posameznih celic in strojnega učenja v biologiji mlečne žleze
prof. dr. Sašo Džeroski
7. Sovražni govor v sodobnih konceptualizacijah nacionalizma, rasizma, spola in migracij
doc. dr. Senja Pollak
8. Kombinatorika besedotvornih obrazil v slovenščini
doc. dr. Senja Pollak
9. Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multi-metodološka empirična analiza
prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
10. Temeljno razumevanje reakcije tvorbe vodikova za novo generacijo elektrokatalizatorjev na osnovi niklja v alkalni in kloralkalni elektrolizi
prof. dr. Sašo Džeroski
11. Temeljne raziskave za razvoj govornih virov in tehnologij za slovenščino
dr. Nikola Ljubešić
12. Jezikovna dostopnost pravic socialnega varstva v Sloveniji
doc. dr. Senja Pollak
13. Napovedno razvrščanje na podatkovnih tokovih
prof. dr. Sašo Džeroski
14. Računalniško podprta večjezična analiza novinarskega diskurza s kontekstualnimi besednimi vložitvami
doc. dr. Senja Pollak
15. Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih – IsoCont
prof. dr. Sašo Džeroski
16. Inteligentni sistem sklepanja za biološka odkritja in njegova uporaba pri raziskavah raka
prof. dr. Sašo Džeroski
17. Auto-OPT: Avtomatizirana izbira in konfiguracija eno-kriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov
prof. dr. Sašo Džeroski
18. Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
doc. dr. Blaž Škrlić
19. 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Sašo Džeroski
20. Modeliranje trdo-oksidnih gorivnih celic z uporabo stohastični in razločljivi modelov strojnega učenja
prof. dr. Sašo Džeroski
21. Tehnike vektorskih vložitev za medijske aplikacije
prof. dr. Nada Lavrač
22. CLARIN
Institut "Jožef Stefan"
prof. dr. Tomaž Erjavec
23. RSDO: Razvoj slovenščine v digitalnem okolju
Ministrstvo za kulturo
prof. dr. Tomaž Erjavec
24. SmartMOVE-Pametne rešitve za trajnostno mobilnost v Sloveniji
Institut za politike prostora
prof. dr. Marko Bohanec
25. Sofinanciranje projekta OE - SMASH; Strojno učenje za znanstvene in humanistične vede
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
prof. dr. Sašo Džeroski
26. SLOKIT: Nadgradnja CLARIN.SI: Korpusni informator in besedilni analizator
Ministrstvo za kulturo
dr. Nikola Ljubešić
27. NOO-DIGITOP; Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti
dr. Aljaž Osojnik
28. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Jure Brence
29. A6.2.1/3.12: Vzpostavitev ekosistema oblčnih storitev umetne inteligence za podporo odprti znanosti AI4SI, ki je povezan z ekosistemi za podporo umetni inteligenci na ravni EU in širše.
prof. dr. Sašo Džeroski
30. Prva Evropska poletna šola iz umetne inteligence in Dvajseta napredna šola iz umetne inteligence (ESSAI & ACAI 2023), Ljubljana, Slovenija, 24. - 28. 07. 2023
Lancaster University
prof. dr. Sašo Džeroski

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Sofinanciranje projekta L2-50070 „Tehnike vektorskih vložitev za medijske aplikacije“
Klipping, d. o. o.
prof. dr. Nada Lavrač

OBISKI

1. prof. dr. Tomislav Stankovski, Medicinska fakulteta Univerze v Skopju, Makedonija, 25. 1.-1. 2. 2023
2. dr. Gabriel Reder, Chalmers University, Gotenburg, Švedska, 5. 4. 2023
3. dr. Thomas Dietterich, Univerza v Oregonu, ZDA, 21.-29. 6. 2023
4. prof. dr. Antoine Doucet, Carlos Gonzalez Gallardo, Hanh Tran Thi Gong in Julien Delaunay, laboratorij L3i z Univerze La Rochelle, La Rochelle, Francija, 11.-15. 9. 2023
5. dr. Marko Šoštar, Institut Rudjer Bošković, Oddelek za molekularno biologijo, Zagreb, Hrvaška, 27. 10. 2023
6. Damar Hoogland, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Velika Britanija, 10. 7.-10. 11. 2023
7. Larisa Soldatova, Goldsmiths university of London, London, Velika Britanija, 31. 7.-11. 8. in 1.-8. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Tjaša Konovšek in Katja Meden: Digitalna humanistika in zgodovinopisje. Predavanje za študente v okviru delovne prakse na Raziskovalni infrastrukturi slovenskega zgodovinopisja, Inštitut za novejšo zgodovino, 5. 1. 2023
2. Tomaž Erjavec, Katja Meden in Jakob Lenardič: Tečaj Storitve CLARIN.SI, Narodna in univerzitetna knjižnica, izobraževanje knjižničarjev, 22. 2. 2023

3. Marjan Stoimchev: Semi-supervised multi-label classification of remotely sensed images, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 23. 2. 2023
4. Jernej Mlinarič: Končna kontrola elektromotorjev z uporabo metod strojnega učenja, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 16. 3. 2023
5. Nada Lavrač, Marko Robnik Šikonja: Strojno učenje iz relacijskih in tekstovnih podatkov: predstavljeno na 31. Dnevh Jožefa Stefana, IJS, odsek za tehnologije znanja, 23. 3. 2023
6. Hanh Thi Hong Tran: Applicability to Math Expressions in On-Line Encyclopedia of Integer Sequences, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 6. 4. 2023
7. Damar Hoogland: Speech timing during conversations, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 12. 7. 2023
8. Klara Kuret: Uporaba RBPNet za odkrivanje RNA-vezavnih proteinov, ki sodelujejo pri selektivnem razpadu mRNA, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 14. 7. 2023
9. Thi Hong Tran: Samodejno pridobivanje izrazov z označevanjem zaporedja in pozivom LLM, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 11. 9. 2023
10. Nina Omejc: Seminar II: Uporaba strojnega učenja za vpogled v izmerjeno kolektivno možgansko dinamiko, 27. 9. 2023
11. Antonio Pellicani: Strojno učenje za odkrivanje nepravilnosti, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 19. 11. 2023
12. Ana Cvek, Katja Meden, Karin Konda, Mihael Ojsteršek: Zgodovina Slovenije – Slstory, RI INZ in digitalna humanistika. Predavanje za študente informacijske znanosti v okviru Raziskovalne infrastrukture slovenskega zgodovinopisja, Inštitut za novejšo zgodovino, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 13. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Marko Bohanec: CECIIS 2023, 34. srednjeevropska konferenca o informacijskih in inteligentnih sistemih. Dubrovnik, Hrvaška, 30. 5.–1. 6. 2023 (1 referat)
2. Marko Bohanec: ICDSST 2023, 9. mednarodna konferenca o tehnologiji sistemov za podporo odločanju. Albi, Francija, 30. 5.–1. 6. 2023 (1 referat)
3. Marko Bohanec: IS 2023, 26. mednarodna konferenca Information Society IS 2023, Slovenian Conference on Artificial Intelligence. Ljubljana, 12. 10. 2023
4. Marko Debeljak: ScaleUPgrade konferenca–TECH na X, Ljubljana, 25. 1. 2023 (1)
5. Marko Debeljak: Smart Agriculture Slovenija; Maribor, Slovenija, 25. 1. 2023 (1)
6. Marko Debeljak: BENCHMARKS kick-off meeting. Wageningen, Nizozemska, 12.–15. 2. 2023 (1)
7. Marko Debeljak: Sestanek z županom mesta Laško. Laško, Slovenija, 30. 3. 2023
8. Marko Debeljak: COCOREADO projektni sestanek. Riga, Latvija, 7.–12. 5. 2023 (1)
9. Marko Debeljak, Tanja Dergan, Jurij Marinko: 22. Vrh kmetijskih in živilskih podjetij. Portorož, Slovenija, 7. 6. 2023 (1, pasivno)
10. Marko Debeljak, Tanja Dergan: Wageningen Soil Conference. Wageningen, Nizozemska, 28. 8.–1. 9. 2023
11. Marko Debeljak: BENCHMARKS projektni sestanek. Frick, Švica, 12.–15. 9. 2023 (1)
12. Marko Debeljak, Obisk prekmurskih županov. Brinje, Slovenija, 4. 10. 2023
13. Marko Debeljak: COCOREADO projektni sestanek. Lizbona, Portugalska, 6.–9. 11. 2023 (1)
14. Marko Debeljak: delovni sestanek Teharje, Slovenija, 9. 6. 2023 (1)
15. Marko Debeljak: predstavitev IPM Decisions projektnih rezultatov. Hoče, Slovenija, 16. 11. 2023
16. Marko Debeljak: predstavitev rezultatov *Analysis of cultivation in the municipality of Laško and analysis of their public procurement*. Laško, Slovenija, 20. 11. 2023 (1)
17. Marko Debeljak: BENCHMARKS projektni sestanek. Wageningen, Nizozemska, 10.–14. 12. 2023 (1)
18. Sašo Džeroski: AL4MS, Helsinki, Finska, 27. 2.–3. 3. 2023
19. Sašo Džeroski: Obisk univerze v Eindhoven. Eindhoven, Nizozemska, 27. 2.–3. 3. 2023 (član komisije zagovora doktorata)
20. Sašo Džeroski: Obisk univerze v Leidnu. Leiden, Nizozemska, 27. 2.–3. 3. 2023
21. Sašo Džeroski: CoSEAL/AutoML. Pariz, Francija, 6.–10. 3. 2023
22. Sašo Džeroski: Obisk univerze v Stanfordu. Kalifornija, ZDA, 26. 3.–2. 4. 2023
23. Sašo Džeroski, Sebastian Mežnar, Jure Brence: Simpozij Computational Scientific Discovery *AAAI 2023 Spring Symposium Series*, Hyatt Regency, San Francisco Airport, California, ZDA, 27.–29. 3. 2023 (1)
24. Sašo Džeroski: Computational metabolomics and machine learning. Shonan, Japonska, 6.–16. 5. 2023 (udeležba na delavnici)
25. Sašo Džeroski: *Generative models for equation discovery*, Amsterdam, Nizozemska, 25. 5.–1. 6. 2023 (1)
26. Sašo Džeroski: WP5 project PARC, Berlin, Nemčija, 25. 5.–1. 6. 2023 (sestanek)
27. Sašo Džeroski: *Machine Learning in Medicine*. Skopje, Severna Makedonija, 25. 5.–1. 6. 2023 (1)
28. Sašo Džeroski: SMASH projektni sestanek. Vipava, Slovenija, 23. 6. 2023
29. Sašo Džeroski: TAILOR projektni sestanek. La Certosa di Pontignano, Siena, Italija, 4.–7. 6. 2023 (udeležba na sestanku)
30. Sašo Džeroski: tretja delavnica Nobel Turing Challenge@CMU. Pittsburgh, ZDA, 10.–14. 7. 2023 (1)
31. Sašo Džeroski, Jure Brence, Nada Lavrač: ELIAS Kick-off meeting, Trento, Italija, 5.–8. 9. 2023
32. Sašo Džeroski, Prvi sestanek projekta Oproda. Gradec, Avstrija, 14. 9. 2023
33. Sašo Džeroski: PARC WP7 sestanek. Bruselj, Belgija, 17.–22. 9. 2023
34. Sašo Džeroski, Sebastian Mežnar, Sintija Stevanoska: ECML/PKDD 2023. Torino, Italija, 18.–22. 9. 2023
35. Sašo Džeroski: Wallenberg Advanced Scientific Forum: Nobel–Turing Grand Challenge Workshop. Stockholm, Švedska, 2.–13. 10. 2023
36. Sašo Džeroski: Konferenca Discovery Science in obisk INESC, Porto, Portugalska, 2.–13. 10. 2023
37. Sašo Džeroski, Obisk MBG–CSIC in CESGA. Pontevedra, Santiago de Compostela, Španija, 1.–17. 11. 2023 (1)
38. Sašo Džeroski: Umetna inteligenca–prednost in priložnost za Slovenijo, Idrija, Slovenija, 6. 11. 2023 (1)
39. Sašo Džeroski: Strateški dnevi IJS 2023, Portorož, Slovenija, 7.–8. 11. 2023 (1)
40. Sašo Džeroski: ASSAS Letni sestanek. Madrid, Španija, 11.–17. 11. 2023 (1)
41. Sašo Džeroski: Dagstuhl Seminar on *Space and Artificial Intelligence*, Dagstuhl, Nemčija, 12.–17. 11. 2023 (1)
42. Sašo Džeroski: KU Leuven, Belgija, 20.–23. 11. 2023, (1)
43. Sašo Džeroski: doktorska dizertacija Jonas Soenen, Leuven, Belgija, 20.–23. 11. 2023 (član komisije)
44. Sašo Džeroski: Univerza v Amsterdamu kot del projekta ELIAS, Amsterdam, Nizozemska, 20.–23. 11. 2023 (delovni sestanek)
45. Sašo Džeroski: Posvet z vodilnimi v zdravstvu. Rogaška Slatina, Slovenija, 23. 11. 2023
46. Sašo Džeroski: sestanek članov UNG Tehnologije znanja, Vipava, Slovenija, 29. 11. 2023 (1)
47. Tomaž Erjavec: Sestanek strateškega in upraviteljskega zbora CLARIN ERIC. Benetke, Italija, 30.–31. 1. 2023 (pasivno)
48. Tomaž Erjavec: CLARIN ERIC general assembly. Lisbon, Portugalska, 17. 4.–19. 4. 2023 (pasivno)
49. Tomaž Erjavec: delavnica TwinTalks, Digital Humanities conference. Gradec, Avstrija, 9. 7.–14. 7. 2023 (1)
50. Boštjan Gec: NetSlo '24, Ljubljana, 26. 1. 2023 (pasivno)
51. Boštjan Gec, Sebastian Mežnar: 15. konferenca študentov Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, 31.–2. 6. 2023 (1)
52. Boštjan Gec, Nina Omejc: SiNAPSA Konferenca nevroznanosti '23, Ljubljana, 28.–30. 9. 2023 (pasivno, 1)
53. Boshko Koloski, Taja Kuzman, Nikola Ljubešić, Peter Rupnik, Senja Pollak: EACL, The 17. Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2.–6. 2023, Dubrovnik (4 prispevek, pasivno)
54. Taja Kuzman: 6. mednarodna konferenca Scientific Reflections in Slavistics, Maribor, 19. 5. 2023 (1 prispevek)
55. Taja Kuzman: International Corpus Linguistics conference (CL2023), Lancaster, Velika Britanija 3.–6. 7. 2023 (virtualno)
56. Taja Kuzman: European Summer School on Artificial Intelligence (ESSAI) 2023, Ljubljana, 24.–28. 7. 2023 (pasivno)
57. Taja Kuzman: European Summer School in Logic, Language and Information (ESSLLI), Ljubljana, 2023, 31. 7.–11. 8. 2023 (1 prispevek)
58. Taja Kuzman: CLARIN Annual Conference 2023, Leuven, Belgija, 16.–18. 10. 2023 (3 prispevki)
59. Taja Kuzman: SLaLaM 2023, first Slovene workshop about techniques and applications of major language models, Bernardin, 21. 12. 2023 (1 prispevek)
60. Jurij Marinko: 22nd Vrh kmetijskih in živilskih podjetij, Portorož, 7. 6. 2023 (pasivno)
61. Katja Meden: Helsinki Digital Humanities Hackathon DHH23, Helsinki, Finska, 24. 5.–2. 6. 2023
62. Katja Meden: DARIAH Annual Event 2023: Cultural Heritage Data as Humanities Research Data, Budapest, Hungary, 6.–9. 6. 2023
63. Katja Meden: DH2023, Gradec, Avstrija, 10.–14. 7. 2023 (1)
64. Katja Meden: CLARIN Annual Conference. Leuven, Belgija 2023, 16.–18. 10. 2023 (2)
65. Sebastian Mežnar: Generative Modeling Summer School, Copenhagen, Danska, 26.–30. 6. 2023 (1)
66. Sebastian Mežnar: Conference NeurIPS 2023, New Orleans, ZDA, 10.–16. 12. 2023 (virtualno)
67. Nina Omejc: Twinbrain Summer School 3.0–Neuroscience of Movement, Piran, 19.–24. 6. 2023 (1)
68. Nina Omejc: EBRAINS Community Summer School, Copenhagen, Danska, 29.–30. 6. 2023 (pasivno)
69. Nina Omejc: Fourth International Symposium on the Mathematics of Neuroscience, 28. 9.–1. 10. 2023 (pasivno, virtualno)
70. Nina Omejc: Twinbrain Workshop 4.0, Koper, 27.–30. 11. 2023 (pasivno)
71. Senja Pollak: The 9th Workshop on Slavic Natural Language Processing 2023 at EACL, Dubrovnik, 6. 5. 2023 (1 – skupaj z Boshkom in Hanh)
72. Boshko Koloski, Kuzman Taja, Nikola Ljubešić, Peter Rupnik, Senja Pollak: EACL, The 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2.–6. 5. 2023, Dubrovnik (pasivno)
73. Senja Pollak: eLex 2023: Electronic lexicography in the 21st century (eLex 2023): nadaljevanje eLex 2023 konference, 26.–30. 6. 2023, Brno, Češka (5)
74. Senja Pollak: Odkrivanje znanja in podatkovna skladišča–SiKDD: Information society–IS 2023, 9.–13. 10. 2023, IJS, Ljubljana, Slovenija (1)
75. Senja Pollak: AIM2023: Artificial Intelligence and Minority: computational approaches to multilingual historical research: 12. 5. 2023, Groningen, Nizozemska (1)
76. Senja Pollak: Big data, small literatures: mednarodna konferenca, 3.–4. 11. 2023, Ljubljana, Slovenija (1)
77. Senja Pollak: Making a difference: the hope and promise of sexuality studies, 28.–29. 9. 2023, Zagreb, Hrvaška
78. Peter Rupnik: Delavnica projekta Mezzanine, Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, 19. 9. 2023
79. Ljupčo Todorovski: NeurIPS 2023, the 37th Annual Conference on Neural Information Processing Systems, New Orleans, ZDA, 11.–15. 12. 2023 (1)
80. Martin Žnidaršič: AIM2023: Artificial Intelligence and Minority: computational approaches to multilingual historical research, Groningen, Nizozemska, 12. 5. 2023 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Senja Pollak: Queen Mary University of London, 8.–10. 2. 2023 (skupne raziskave na temo sovražnega govora)
2. Senja Pollak: Sorbonne Université, CERES, Pariz; Francija, 12.–16. 10. 2023 (ERASMUS staff mobility, vzpostavitev skupnega raziskovanja)
3. Senja Pollak, Marko Pranič: Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, ZDA 16.11.–29.11. 2023 (delo na bilateralnem projektu s področja delovnega spomina jezikovnih modelov)
4. Senja Pollak: La Rochelle Université, La Rochelle, Francija, 4. in 8. 12. 2023 (delo na bilateralnem projektu sheme PROTEUS na temo luščenja in poravnave terminologije)
5. Senja Pollak: Sorbonne Université, CERES, Pariz; Francija, 9.–10.12. 2023 (predstavitev in skupne raziskave na temo analize novic)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Marko Bohanec, znanstveni svetnik - strokovni sekretar odseka
2. Michelangelo Ceci, PhD., Italija, znanstveni svetnik
3. prof. dr. Bojan Cestnik*
4. prof. dr. Marko Debeljak
5. **prof. dr. Sašo Džeroski, znanstveni svetnik - vodja odseka**
6. prof. dr. Tomaž Erjavec
7. dr. Dragi Kocev
8. doc. dr. Petra Kralj Novak
9. prof. dr. Nada Lavrač, znanstveni svetnik
10. prof. dr. Zoran Levnjak*
11. dr. Nikola Ljubešić
12. prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
13. prof. dr. Igor Mozetič
14. doc. dr. Panče Panov
15. dr. Vid Podpečan
16. doc. dr. Senja Pollak
17. Matthew Richard John Purver, PhD., Združeno kraljestvo
18. prof. dr. Ljupčo Todorovski*, znanstveni svetnik
19. doc. dr. Ana Zwitter Vitez*
20. doc. dr. Bernard Zenko
21. doc. dr. Martin Žnidaršič

Podoktorski sodelavci

22. *dr. Martin Breskvar, odšel 1. 11. 2023*
23. *dr. Jurica Levatič, odšel 1. 4. 2023*
24. dr. Aljaž Osojnik
25. *dr. Matej Petković*, odšel 1. 10. 2023*
26. dr. Nikola Simidjievski
27. dr. Blaž Škrlj*
28. dr. Jovan Tanevski
29. *dr. Anita Valmarska*, odšla 1. 9. 2023*

Mlajši raziskovalci

30. Jure Brence, mag. fiz.
31. Tanja Dergan, mag. agr. ekon.
32. Boštjan Gec, mag. mat.
33. Boshko Koloski, mag. inf. in kom. tehnologij
34. Ana Kostovska, mag. inf. kom. tehnol.
35. Taja Kuzman, mag. prev.
36. mag. Marijan Manoilov*
37. Jurij Marinko, mag. inž. agr.
38. Martin Marzidovšek*, MSc, Švica
39. Katja Meden, mag. bibl., inf. in zal. štud.
40. Sebastian Mežnar, mag. inž. rač. in inf.
41. Nina Omeje, M.Sc., ZR Nemčija
42. Andraž Pelicon, mag. prev.
43. Marko Pranjic, Msc., Hrvaška
44. Andraž Repar*, univ. dipl. prev.
45. Sintija Stevanoska, Msc., Makedonija
46. Marjan Stojimchev, mag. inž. el.

Strokovni sodelavci

47. Živa Antauer, univ. dipl. prim. jez. in prim. slov. jez.
48. Peter Rupnik, dipl. fiz. (UN)
49. *Luka Terčon, mag. angl., odšel 1. 10. 2023*

Tehniški in administrativni sodelavci

50. Milica Bauer, dipl. ekon.
51. Lenka Trdina, univ. dipl. fil.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aalto University, Aalto, Finska
2. Aarhus university, Copenhagen, Danska
3. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Slovenija
4. Alan Turing Institute, Velika Britanija
5. Amebis, d. o. o., Kamnik, Slovenija
6. BBC (British Broadcasting Corporation), Velika Britanija
7. Bulgarian Academy of Sciences, Sofija, Bolgarija
8. Burgundy school of business, Dijon, Francija
9. BVL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
10. Center za šport, turizem, informiranje in kulturo Laško, Slovenija
11. Central European University, Dunaj, Avstrija
12. CER - Partnerstvo za trajnostno gospodarstvo, Ljubljana, Slovenija
13. Charles University, Praga, Češka republika
14. CLARIN ERIC, Utrecht, Nizozemska
15. Czech Technical University, Praga, Češka republika
16. Delphy, Wageningen, Nizozemska
17. ECT Oekotoxikologie GmbH, Flörsheim am Main, Nemčija
18. Elektro Celje, d. d., Slovenija

19. ESEIA, Graz Office, Gradec, Avstrija
20. Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Slovenija
21. GoOpti, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
22. Groningen University, Groningen, Nizozemska
23. INRIA, Pariz, Francija
24. Institut for Agroökologi, Tjele, Danska
25. Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaška
26. Institute of Croatian Language, Zagreb, Hrvaška
27. Inštitut za kriminologijo pri Pravni fakulteti v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
28. Inštitut za novejšo zgodovino, Ljubljana, Slovenija
29. IPO - Inštitut za politike prostora, Ljubljana, Slovenija
30. Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, ZDA
31. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
32. Kliping, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
33. Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
34. KOLEKTOR SISTEH, d. o. o., Slovenija
35. La Rochelle Université, Laboratoire Informatique, Image et Interaction (I3i), La Rochelle, Francija
36. Lancaster University, Lancaster, Velika Britanija
37. Lokalna akcijska skupina (LAS) Razvoj podeželja, Teharje, Slovenija
38. LUZ - Ljubljanski urbanistični zavod, Ljubljana, Slovenija
39. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
40. METRONIK, d. o. o., Slovenija
41. Mirovni Inštitut, Ljubljana, Slovenija
42. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
43. Nordland Research Institute, Bodø, Norveška
44. Norwegian institute of bioeconomy research, Akershus, Norveška
45. Občina Laško, Laško, Slovenija
46. Osnovna šola Primoža Trubarja Laško, Laško, Slovenija
47. Petrol, d. d., Ljubljana, Slovenija
48. Polish Academy of Sciences, Varšava, Poljska
49. Prompsit, Elche, Španija
50. Queen Mary, University of London, London, Velika Britanija
51. RRA LUR - Regionalna razvojna agencija Ljubljanske urbane regije, Ljubljana, Slovenija
52. RSK ADAS, Združeno kraljestvo
53. Rudolfovo - znanstveno in tehnološko središče Novo mesto
54. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg & Universitätsklinikum Heidelberg, Institute for Computational Biomedicine, Heidelberg, Nemčija
55. Sapienza Univerza v Rimu, Italija
56. Sorbonne Université, Faculté des Lettres, Centre d'expérimentation en méthodes numériques pour les recherches en Sciences Humaines et Sociales (CERES), Pariz, Francija
57. Statistični urad republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija
58. Temida, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
59. TextGain BVBA, Antwerpen, Belgija
60. The Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Švica
61. Université Catholique de Louvain, Luven, Belgija
62. University of Alacant, Alicante, Španija
63. University of Amsterdam, Faculty of Science, Amsterdam, Nizozemska
64. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
65. University of Bari, Department of informatics, Bari, Italija
66. University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Beograd, Srbija
67. University of Belgrade, School of Electrical Engineering, Beograd, Srbija
68. University of Bologna, Italija
69. University of Cambridge, Cambridge, Velika Britanija
70. University of Cyprus, Nicosia, Ciper
71. University of Glasgow, Velika Britanija
72. University of Gothenburg, Center for Language Technology and Center for Linguistic Theory and Studies in Probability, Gothenburg, Sweden
73. University of Napoli Federico, Neapelj, Italija
74. University of Skopje, Faculty of Computer Science and Engineering, Faculty of Electrical Engineering - Medical Faculty, Skopje, Severna Makedonija
75. University of Tübingen, Tübingen, Nemčija
76. University of Venice, Ca' Foscari, Benetke, Italija
77. University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics, Varaždin
78. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede Maribor, Slovenija
79. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
80. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
81. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, Slovenija
82. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
83. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
84. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
85. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za socialno delo, Ljubljana, Slovenija
86. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za upravo, Ljubljana, Slovenija
87. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
88. Univerza v Ljubljani, Pravna fakulteta, Ljubljana, Slovenija
89. University of Gothenburg, Gothenburg, Švedska
90. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Laboratorij za digitalno procesiranje signalov, Maribor, Slovenija
91. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica, Slovenija
92. Uprava za varno hrano veterinarstvo in varstvo rastlin, Ljubljana, Slovenija
93. Vrije Universiteit, Faculty of Humanities, Amsterdam, Nizozemska
94. XLAB, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
95. ZDS - Združenje delodajalcev Slovenije, Ljubljana, Slovenija
96. ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija

Odsek za inteligentne sisteme se posveča razvoju naprednih metod in pristopov za ustvarjanje inteligentnih računalniških sistemov z uporabo v realnem svetu. Raziskovalna področja odseka vključujejo umetno inteligenco, ambientalno inteligenco, agentne in multiagentne sisteme, računsko inteligenco, tehnologije jezika in govora, elektronsko in mobilno zdravje, pametna mesta, kognitivno inteligenco in superinteligenco. V sodelovanju s Fakulteto za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani je odsek del skupnega raziskovalnega programa Umetna inteligenca in inteligentni sistemi. Z več kot petdesetimi leti izkušenj na področju umetne inteligence in dvajsetimi na področju superinteligence smo predani raziskovanju najnovejših dosežkov na področju umetne inteligence in inteligentnih sistemov.

Leta 2023 je odsek sprožil pomembno pobudo, namenjeno reševanju pomislekov v zvezi z umetno inteligenco, zlasti generativno umetno inteligenco, s ciljem spodbujanja njene široke uporabe. M. Gams je izvedel javne predstavitve, ki se jih je skupno udeležilo približno 2000 udeležencev in med katerimi so bili tudi medijski nastopi, vključno z vidnim intervjujem na nacionalni televiziji, ki je dosegel več sto tisoč gledalcev. M. Luštrek je pridobil naziv rednega profesorja, kar dodatno prispeva k znanstveni odličnosti odseka.



Vodja:

prof. dr. Matjaž Gams

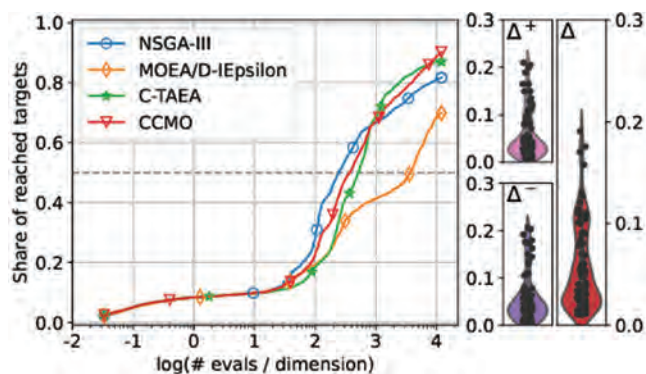
Odsek tesno sodeluje z industrijskimi partnerji pri vključevanju inteligentnih sistemov v različne izdelke in storitve, ki so zasnovani tako, da simulirajo človeško vedenje in inteligenco z uporabo kompleksnih mehanizmov in digitalnih platform, kar uporabnikom omogoča nemoteno interakcijo z njimi. Poudariti je treba, da se področje inteligentnih sistemov nenehno širi in omogoča rast informacijske družbe in je tako področje, ki se hitro razvija po vsem svetu.

Ambientalna inteligenca je raziskovalno področje, ki vnaša tehnologijo v človekovo okolje na prijazen in za uporabnika nezahteven način. Glavno področje uporabe ambientalne inteligence na odseku je zdravje. Zaključili smo projekt Obzorja 2020 WideHealth, ki se je ukvarjal z izobraževanjem in mreženjem na področju vseprisotnega zdravstva in sorodnih tematik. Posebno pozornost si zasluži tematska šola o zaupanja vredni umetni inteligenci (čedalje pomembnejši tematiki za odsek), ki jo je projekt organiziral. Končali smo tudi projekt Obzorja 2020 COVIRNA, v katerem smo razvili diagnostični test, ki lahko napove izide bolnikov s covidom-19 iz izraženosti dolgih nekodirajočih molekul RNK v njihovi krvi. V letu 2023 smo začeli kar tri nove projekte. Prvi je projekt Obzorja Evropa SmartCHANGE, ki ga koordiniramo in se ukvarja z dolgoročnim napovedovanjem tveganja za kronične bolezni pri otrocih in mladini s pomočjo metod zaupanja vredne umetne inteligence. Drugi je projekt Weave s Švico TRUST-ME, ki se ukvarja s spremljanjem zadovoljstva in produktivnosti na delovnem mestu s pomočjo brezstičnih senzorjev. Ker je takšno spremljanje delavcev problematično z vidika zasebnosti, se bo projekt ukvarjal tudi s federativnim učenjem, ki omogoča gradnjo modelov brez iznosa podatkov z uporabnikovega računalnika. Tretji novi projekt je WASTELESS in spet pripada Obzorju Evropa, ukvarja pa se z merjenjem odpadne hrane. Med doktorskimi raziskavami zaključujemo eno o brezstičnem zaznavanju fizioloških signalov in stanj, posebej z analizo fotopletizmograma (optičnega odčitka količine krvi v koži) v več valovnih dolžinah svetlobe. Blizu zaključka sta tudi raziskava metod za izbiranje vprašanj v prehranskih vprašalnikih na način, ki zagotovi čim več informacij s čim manj vprašanji, ter raziskava o prepoznavanju stresa iz podatkov senzorjev in pametnega telefona. V zadnji doktorski

- **Odsek je sprožil pomembno pobudo, namenjeno reševanju pomislekov v zvezi z umetno inteligenco, zlasti generativno umetno inteligenco, s ciljem spodbujanja njene široke uporabe. Sodelavec odseka je predaval 2000 poslušalcem skupno in v sodelovanju z različnimi mediji, vključno z nosilnim intervjujem na nacionalni televiziji, dosegel več sto tisoč gledalcev. Dodatno je sodelavec odseka pridobil naziv rednega profesorja, kar prispeva k akademski odličnosti oddelka.**
- **Začeli smo s projektom Obzorja Evropa SmartCHANGE, ki ga koordiniramo in vključuje 13 partnerjev. Projekt se ukvarja z dolgoročnim napovedovanjem tveganja za kronične bolezni pri otrocih in mladini s pomočjo metod zaupanja vredne umetne inteligence. Končni cilj je razviti orodja, ki bodo pomagala pri izbiri ustreznih preventivnih zdravstvenih ukrepov pri mladih.**



Slika 1: Iz fizioloških signalov ljudi poskušamo ugotoviti stopnjo empatije, ki jo ljudje doživljajo, ko so v navidezni resničnosti soočeni z različnimi scenariji.



Slika 2: Razvili smo dve meri, uporabni za večkriterijsko optimizacijo z omejitvami. Prva meri učinkovitost algoritma pri reševanju večkriterijskih problemov z omejitvami, druga pa ocenjuje zmožnost problema, da razlikuje med algoritmi.

Uspešno smo zaključili projekt Urbanite, v katerem smo za štiri pomembna evropska mesta razvili platformo in nabor orodij za pametna mesta. Naša glavna prispevka sta bila razvoj prometnih simulacij na podlagi enotnega pristopa in razvoj uporabniku prijaznega vmesnika za preprosto ustvarjanje novih simulacij. S pomočjo rezultatov simulacij smo razvili sistem za podporo odločanju in priporočilni sistem za izboljšanje kakovosti življenja občanov.

karakterizacijo problemov z analizo problemske pokrajine, napovedovanje učinkovitosti algoritmov, vizualizacijo rezultatov optimizacije, metodologijo primerjave algoritmov ter njihovo uporabnost v znanosti in tehniki. V



Slika 3: Institut "Jožef Stefan" in podjetje MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., sta na Industrijskem forumu IRT 2023 prejela priznanje TARAS za uspešno sodelovanje pri razvoju elektromotorja za avtomobilsko industrijo z inovativnim simulacijsko-optimizacijskim postopkom.

Razvili smo inovativni postopek za optimizacijo na podlagi računsko zahtevne numerične simulacije, ki zagotavlja tudi robustnost rešitev. Z njim nam je uspelo znižati stroške komponent izbranega elektromotorja za avtomobilске servovolanske sisteme za 10 %.

študiji ugotavljamo stopnjo empatije iz fizioloških signalov med uporabo navidezne resničnosti.

Na področju **agentov in večagentnih sistemov** sta glavni raziskovalni področji usmerjeni v razvoj inteligentnih avtonomnih sistemov za upravljanje pametnih mest in razvoj inteligentnih sistemov za podporo zdravstvu. Pri projektu **AI Bee System** smo s slovenskim podjetjem razvili prototip pametnega sistema za spremljanje čebel v njihovem domačem okolju. Začeli smo s projektom **Wellbeing**, kjer s slovenskimi partnerji nadaljujemo razvoj pametnega sistema za spremljanje čebel, pri čemer se osredotočamo na vplive okolja na stres v čebelji družini in posledično produkcijo medu. Začel se je projekt **DIGITOP**, ki cilja na digitalno preobrazbo in robotizacijo proizvodnje (predvsem) v Sloveniji. Za projekt pametnih mest Obzorja 2020 **Urbanite** smo razvili sistem, ki simulira promet ter ugotavlja in potrjuje najboljše mobilnostne politike in ukrepe. V projekt so vključena štiri evropska mesta: Amsterdam, Helsinki, Bilbao in Messina. Pri projektu **Cestel** na podlagi signalov iz senzorjev, vgrajenih v mostove, napovedujemo število osi, medosne razdalje ter težo vozil, ki prečkajo most. Zaključili smo projekt **Valence**, kjer smo z mednarodnimi partnerji sodelovali pri modernizaciji učenja računalništva s poudarkom na poučevanju sodobnih metod umetne inteligence v srednjih šolah. Z veseljem sledimo, predavamo in sodelujemo pri razvoju splošne in superinteligence v programih, kot je ChatGPT. Pri projektu **Personalizirano zdravljenje** s presaditvijo matičnih celic pri bolnikih s srčnim popuščanjem raziskujemo nove, pacientu prilagojene metode zdravljenja.

Računska inteligenca proučuje naključnostne metode preiskovanja, optimiranja in učenja, ki se zgledujejo po bioloških in fizikalnih sistemih. Poudarek raziskav na tem področju na Odseku za inteligentne sisteme je na evlucijskem računanju in optimizaciji. Proučujemo evlucijske algoritme za večkriterijsko optimizacijo, tehnike obravnavanje omejitev, karakterizacijo problemov z analizo problemske pokrajine, napovedovanje učinkovitosti algoritmov, vizualizacijo rezultatov optimizacije, metodologijo primerjave algoritmov ter njihovo uporabnost v znanosti in tehniki. V sodelovanju s Tehniško univerzo v Ostravi na Češkem izvajamo temeljni raziskovalni projekt **Večkriterijska optimizacija z omejitvami na osnovi analize problemske pokrajine**, ki ga v okviru raziskovalne sheme Weave sofinancirata ARIS in Češka znanstvena fundacija. Namen teh raziskav je prispevati k teoretičnim osnovam večkriterijske optimizacije z omejitvami in razviti novo generacijo evlucijskih metahevrstik za reševanje tovrstnih problemov. Posebej se posvečamo analizi problemske pokrajine, karakterizaciji problemov na podlagi značilk, napovedovanju učinkovitosti algoritmov, njihovi izbiri in konfiguriranju. Vključili smo se v akcijo COST CA22137 **Randomized Optimization Algorithms Research Network (ROAR-NET)**, katere namen je spodbuditi raziskave in razvoj naključnostnih optimizacijskih algoritmov, narediti te algoritme konkurenčne pri reševanju realnih problemov in doseči njihovo široko uporabo v praksi. Za podjetje MAHLE Electric Drives Slovenija smo v sodelovanju z Odsekom za računalniške sisteme izvedli **Optimizacijo samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij**. Cilj tega projekta je bil določiti geometrijske in materialne značilnosti izbranega elektromotorja za avtomobilsko industrijo tako, da so izpolnjene številne tehnične zahteve za njegovo delovanje in stroški izdelave minimalni. Zaradi visoke računske zahtevnosti simulacij, na katerih temelji optimizacija, je bil poudarek na razvoju postopka, ki pri čim manj ovrednotenih rešitvah najde čim ugodnejšo. S tem postopkom razviti elektromotor ima v primerjavi z izhodiščno različico 10 % nižjo ceno komponent. Za ta dosežek sta Institut "Jožef Stefan" in MAHLE Electric Drives Slovenija na Industrijskem forumu IRT 2023 v Portorožu prejela priznanje TARAS za uspešno sodelovanje gospodarstva in raziskovalno-razvojnega okolja na področju inoviranja,

razvoja in tehnologij. V okviru projekta **Inteligentno in okolju prijazno razporejanje terenskega dela (MF-Scheduler)** smo podjetju Comland pomagali razviti računalniški sistem za razporejanje delavcev po terenskih nalogah in ga ovrednotili na problemih iz prakse.

Pri **govornih in jezikovnih tehnologijah** se ukvarjamo s sintezo slovenskega govora, pomensko analizo besedila in odgovarjanjem na vprašanja. V sodelovanju s podjetjema Alpineon in Amebis smo razvili kakovosten sintetizator slovenskega govora **eBralec** (<https://ebralac.si/>). Programski paket ima več tisoč naročnikov in je nepogrešljiv pripomoček slepih in slabovidnih (uradni sintetizator govora Zveze društev slepih in slabovidnih Slovenije) ter oseb z motnjami branja (društvo Bravo). Zanje je brezplačen in ga lahko naročijo v Knjižnici slepih in slabovidnih (<https://www.kss-ess.si/ebralac-sintetizator-govora-slovenskega-jezika/>). eBralec je med drugim vgrajen v aplikacijo DarsPromet+ za potrebe varnega podajanja prometnih informacij, strežniško različico sistema eBralec pa od leta 2017 uporablja tudi Narodna in univerzitetna knjižnica (NUK), na prenovljeni Delovi spletni strani pa prebira aktualne novice. Uspešno smo zaključili delo pri projektu **AudiBook: Education accessibility through a digital audio library for the blind and visually-impaired**.

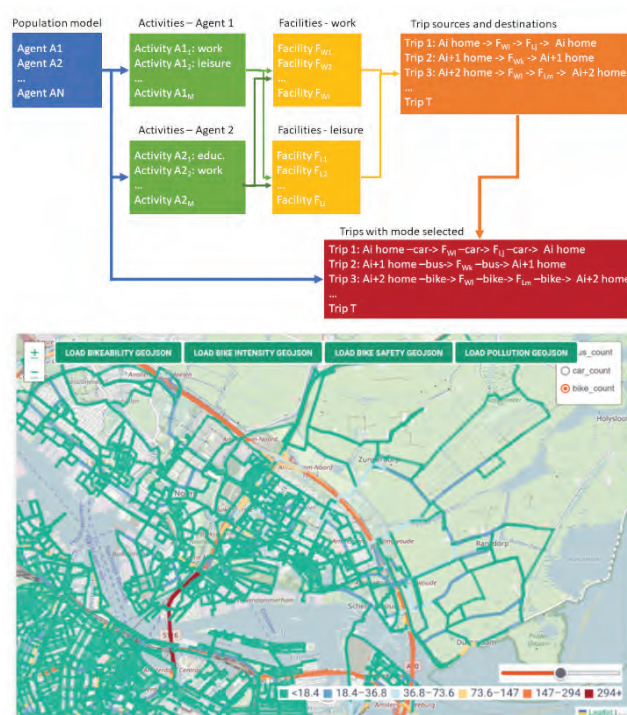
Od 9. do 13. oktobra 2023 je na Institutu "Jožef Stefan" potekala **26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023** (<https://is.ijs.si>). Sestavljalo jo je 12 samostojnih konferenc, na katerih so udeleženci predstavili več kot 100 referatov. Na multikonferenci so bila podeljena štiri priznanja. Nagrado Michie-Turing za izjemen življenjski prispevek k razvoju in promociji informacijske družbe je prejel prof. dr. Andrej Brodnik. Priznanje za dosežek leta je pripadlo Benjaminu Bajdu. Informacijsko limono za najmanj primerno informacijsko potezo je prejela nekompatibilnost zdravstvenih sistemov v Sloveniji, informacijsko jagodo za najboljšo informacijsko potezo pa RTV-portal dostopno.si.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Janko, V., Reščič, N., Vodopija, A., Susič, D., De Masi, C., Tušar, T., Gradišek, A., Vandepitte, S., De Smedt, D., Javornik, J. S., Gams, M., Luštrek, M., Optimizing non-pharmaceutical intervention strategies against COVID-19 using artificial intelligence, *Frontiers in Public Health*, 2023, 11, 1073581
2. Mlakar, M., Gradišek, A., Luštrek, M., Jurak, G., Sorić, M., Leskošek, B., Starc, G., Adult height prediction using the growth curve comparison method, *PLoS one*, 2023, 18, 2, e0281960
3. Shulajkovska, M., Smerkol, M., Dovgan, E., Gams, M., A machine-learning approach to a mobility policy proposal, *Heliyon*, 2023, 9, e20393
4. Susič, D., Syed-Abdul, S., Dovgan, E., Jonnagaddala, J., Gradišek, A., Artificial intelligence based personalized predictive survival among colorectal cancer patients, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2023, 231, 107435
5. Volz, V., Naujoks, B., Kerschke, P., Tušar, T., Tools for landscape analysis of optimisation problems in Procedural Content Generation for games, *Applied Soft Computing*, 2023, 136, 110121

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. WideHealth Winter School on Trustworthy AI, Potsdam, Nemčija, 14.–17. 3. 2023
2. Organizacija projektne kick-off sestanka projekta SmartChange, Ljubljana, 23.–24. 5. 2023



Slika 4: Pri projektu Obzorja 2020 URBANITE smo razvili nov sistem za pametna mesta na podlagi umetne inteligence. Prototip smo preizkusili v štirih večjih mestih: Amsterdamu, Bilbau, Helsinkih in Messini. Slika prikazuje analizo kolesarskega prometa v Amsterdamu.



Slika 5: Odsek je sprožil pomembno pobudo, namenjeno reševanju pomislekov v zvezi z umetno inteligenco s ciljem spodbujanja njene široke uporabe. M. Gams je izvedel javne predstavitve, ki se jih je skupno udeležilo približno 2000 udeležencev in med katerimi so tudi medijski nastopi, vključno z vidnim intervjujem na nacionalni televiziji, ki je dosegel več sto tisoč gledalcev. Eden od dogodkov, na katerem so se zbirala in razširjala znanja, je bila tudi tradicionalna konferenca o informacijski družbi, na kateri je bil glavni nagrajenec prof. dr. A. Brodnik.

3. International Workshop on Computer Vision for Physiological Measurement, CVPM 2023, Vancouver, Kanada, 18. 6. 2023
4. 19th International Conference on Intelligent Environments, Flic-en-Flac, Mavricij, 27.–30. 6. 2023
5. 12th International Workshop on Intelligent Environments Supporting Healthcare and Well-Being, WISHWell 2023, Flic-en-Flac, Mavricij, 28. 6. 2023 (virtualno)
6. Delavnica Blackbox Optimization Benchmarking, BBOB 2023, srečanje GECCO Job Market in sekcija Evolutionary Computation in Practice, ECiP, na konferenci Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2023, Lizbona, Portugalska, 15.–19. 7. 2023
7. 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.–13. 10. 2023
 - Odkrivanje znanja in podatkovna skladišča – SIKDD, 9. 10. 2023
 - Demografske in družinske analize, 9. 10. 2023
 - Legende računalništva in informatike, 10. 10. 2023
 - Konferenca o zdravi dolgoživosti, 10. 10. 2023
 - Miti in resnice o varovanju okolja, 11. 10. 2023
 - Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij, 11. 10. 2023
 - Digitalna vključenost v informacijski družbi – DIGIN 2023, 11. 10. 2023
 - Slovenska konferenca o umetni inteligenci, 12. 10. 2023
 - Kognitivna znanost, 12. 10. 2023
 - Vzgoja in izobraževanje v informacijski družbi, 13. 10. 2023
8. 41. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave, AVN, Ljubljana, 24. 11. 2023

Nagrade in priznanja

1. Andrejaana Andova, Tobias Benecke, Harald Ludwig, Tea Tušar: Priznanje za najboljši poster na konferenci EvoStar 2023, Brno, Češka, 12.–14. 4. 2023, prispevek *Towards constructing a suite of multi-objective optimization problems with diverse landscapes*
2. Bogdan Filipič, Tea Tušar, Aljoša Vodopija, Jordan Cork, Peter Korošec in podjetje MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.: Priznanje TARAS za uspešno sodelovanje gospodarstva in raziskovalno-razvojnega okolja na področju inoviranja, razvoja in tehnologij, Industrijski forum IRT 2023, Portorož, 12.–13. 6. 2023, projekt *Razvoj elektromotorja za avtomobilsko industrijo z inovativnim simulacijsko-optimizacijskim postopkom*
3. Bogdan Filipič: Nagrada za najboljši prispevek na Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij, 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.–13. 10. 2023, prispevek *Randomized optimization: From algorithmic studies to industrial applications*
4. Tea Tušar, Peter Korošec, Bogdan Filipič: Nagrada za najboljši prispevek na Slovenski konferenci o umetni inteligenci, 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.–13. 10. 2023, prispevek *A multi-step evaluation process in electric motor design*

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERASMUS+; VALENCE - Napredno strojno učenje v poklicnem izobraževanju
European Commission
prof. dr. Matjaž Gams
2. H2020 - URBANITE; Odločitvena podpora v urbani transformaciji z uporabo prelomnih tehnologij
European Commission
prof. dr. Matjaž Gams
3. H2020 - COVIRNA; Diagnostični test za boljšo oskrbo bolnikov s COVID-19
European Commission
prof. dr. Mitja Luštrek
4. H2020 - WideHealth; Širjenje raziskav o vseprisotnem in e-zdravstvu
European Commission
prof. dr. Mitja Luštrek
5. OE - WASTELESS; Rešitve za kvantifikacijo odpadkov za omejitve okoljskega stresa
European Commission
prof. dr. Mitja Luštrek
6. OE - SmartCHANGE; Dolgoročno ocenjevanje zdravstvenega tveganja s pomočjo umetne inteligence za strategije sprememb obnašanja otrok in mladine
European Commission
prof. dr. Mitja Luštrek
7. ERASMUS+; TSAAI - Transverzalne veščine uporabne umetne inteligence
European Commission
doc. dr. Anton Gradišek

8. DIGITAL EU; DIGI-SI - Podpora digitalni preobrazbi Slovenije
European Commission
doc. dr. Anton Gradišek
9. AIBeeSystem; Sistem za spremljanje čebel, ki ga poganja umetna inteligenca (UI)
Politecnico di Milano
doc. dr. Anton Gradišek
10. COST CA22137; ROAR-NET - Raziskovalna mreža za naključnostne optimizacijske algoritme
COST Association AISBL
prof. dr. Bogdan Filipič
11. COST CA22129; InsectAI - Prepoznavanje slik z umetno inteligenco za spremljanje
COST Association AISBL
doc. dr. Anton Gradišek

PROGRAM

1. Umetna inteligenca in inteligentni sistemi
prof. dr. Mitja Luštrek

PROJEKTI

1. Personalizirano zdravljenje s presaditvijo matičnih celic pri bolnikih s srčnim popuščanjem
doc. dr. Anton Gradišek
2. Večkriterijska optimizacija z omejitvami na osnovi analize problemske pokrajine
prof. dr. Bogdan Filipič

3. ZAUPAJ-MI: ZAUPanja vredno izboljšanje zadovoljstva in produktivnost na delovnem mestu s pomočjo...
prof. dr. Mitja Luštrek
4. WellBEEing: spremljanje čebeljih družin s pametnimi senzorji
doc. dr. Anton Gradišek
5. SI4CARE - Socialne inovacije za celostno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region
prof. dr. Mitja Luštrek
6. Projekt EDIH DIGI-SI-sofinanciranje projekta DIGI-SI
Ministrstvo za digitalno preobrazbo
doc. dr. Anton Gradišek
7. NOO-DIGITOP: Digitalna transformacija robotiziranih tovarn prihodnosti
prof. dr. Matjaž Gams
8. 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba 2023, IS 2023, Ljubljana, Slovenija, 09.10.2023 - 13.10.2023
prof. dr. Matjaž Gams
9. 20. mednarodna konferenca Intelligent Environments 2024, Ljubljana, Slovenija, 17. 06. 2024 - 20. 06. 2024
prof. dr. Mitja Luštrek

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Inteligentno in okolju prijazno razporejanje terenskega dela - MF-Scheduler
Comland, d. o. o.
prof. dr. Bogdan Filipič
2. Optimizacija samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij
MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.
prof. dr. Bogdan Filipič
3. Izvajanje meritev gibalne aktivnosti
ZŠ RS Planica
prof. dr. Mitja Luštrek
4. Razvoj programske opreme za napredovanje števila in obremenitev osi vozil z uporabo algoritmov umetne inteligence
Cestel, d. o. o.
prof. dr. Matjaž Gams
5. Izdelava premičnega sistema za tehtanje vozil med vožnjo z uporabo metod umetne inteligence
Cestel, d. o. o.
prof. dr. Matjaž Gams

OBISKI

1. Mathis Jeroncio, Thomas Velard, Paris-Saclay University, Pariz, Francija, 24. 4.-30. 6. 2023
2. Kitoshi Kawai, Tokyo University of Science, Tokio, Japonska, 15. 6.-22. 9. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Andrejaana Andova: Predstavitev izbranih poglavij s poletne šole ESSAI, 7. 8. 2023
2. Zoja Anžur: Predstavitev zasnove magistrskega dela za sodelavce E9, 13. 11. 2023
3. Jordan Cork: Predstavitev izbranih poglavij s poletne šole ESSAI, 18. 9. 2023
4. Jordan Cork: Background and work history, 11. 12. 2023
5. Bogdan Filipič: Development of an electric motor for the automotive industry with an innovative simulation-based optimization procedure, 19. 6. 2023
6. Matjaž Gams: Je ChatGPT dosegel splošno inteligenco?, 15. 5. 2023
7. Matjaž Gams: Kje je ChatGPT dosegel, kje presega človeka in kje bo še nekaj časa zaostajal?, 26. 6. 2023
8. Matjaž Gams: ChatGPT: na poti do superinteligence, 30. 11. 2023
9. Matjaž Gams, Maj Smerkol: URBANITE - predstavitev projekta H2020 za pametna mesta, 18. 12. 2023
10. Mathis Jeroncio, Thomas Velard, Paris-Saclay University, Pariz, Francija: Valence project with AI chatbot, 26. 6. 2023
11. Marko Jordan: Predstavitev magistrske naloge za sodelavce E9, 6. 2. 2023
12. Žiga Kolar: Predstavitev izbranih poglavij s poletne šole ESSAI, 7. 8. 2023
13. Junoš Lukan: Predstavitev izbranih poglavij z zimske šole WideHealth Winter School on Trustworthy AI, 8. 5. 2023
14. Junoš Lukan: Stress prediction: Is it really that simple?, 19. 5. 2023 (virtualno)
15. Junoš Lukan: Predstavitev izbranih poglavij s poletne šole ESSAI, 18. 9. 2023
16. Gjorgji Noveski, Predstavitev dela na projektu Valence, 27. 2. 2023
17. Nina Reščič: Predstavitev izbranih poglavij z zimske šole WideHealth Winter School on Trustworthy AI, 8. 5. 2023
18. Nina Reščič: Predstavitev izbranih poglavij s poletne šole ESSAI, 18. 9. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Andrejaana Andova, Jordan Cork, Bogdan Filipič, Tea Tušar, Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2023, Lizbona, Portugalska, 15.-19. 7. 2023 (1)
2. Andrejaana Andova, Jordan Cork, Bogdan Filipič, Matjaž Gams, Marko Jordan, Kitoshi Kawai, Primož Kocuvan, Žiga Kolar, Junoš Lukan, Mitja Luštrek, Marcel Franse

- Martinšek, Gašper Slapničar, David Susič, Tea Tušar, Aljoša Vodopija, Matic Zadobovšek, 26. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2023, Ljubljana, 9.-13. 10. 2023 (15)
3. Andrejaana Andova, Bogdan Filipič, David Susič, Tea Tušar, 41. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave, AVN, Ljubljana, 24. 11. 2023 (1)
4. Andrejaana Andova, 26th International Conference on the Applications of Evolutionary Computation, EvoApplications 2023 (Part of EvoStar 2023), 12.-14. 4. 2023 (1)
5. Andrejaana Andova, Jordan Cork, Žiga Kolar, Junoš Lukan, Marcel Franse Martinšek, Nina Reščič, Maj Smerkol, European Summer School on Artificial Intelligence, ESSAI, Ljubljana, 24.-27. 7. 2023
6. Bogdan Filipič, Industrijski forum IRT 2023, Portorož, 12.-13. 6. 2023
7. Bogdan Filipič, Nacionalni dogodek Dan ARIS 2023: Podpiramo odličnost, Ljubljana, 21.-22. 11. 2023
8. Matjaž Gams, 32nd International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2023, Macau, Kitajska, 19.-25. 8. 2023
9. Matjaž Gams, Konferenca Edutainment 2023, Lipica, 24. 11. 2023
10. Anton Gradišek, International Conference on Bee Pollination and Conservation, Multan, Pakistan, 19. 5. 2023 (virtualno)
11. Anton Gradišek, 12th International Workshop on Intelligent Environments Supporting Healthcare and Well-Being, WISHWell'2023, Flic-en-Flac, Mavricij, 28. 6. 2023 (virtualno)
12. Anton Gradišek, 19th World Congress on Medical and Health Informatics 2023, MedInfo23, Sydney, Avstralija, 8.-12. 7. 2023 (1)
13. Anton Gradišek, 6. slovenski entomološki simpozij z mednarodno udeležbo, Izola, 15.-16. 9. 2023 (1)
14. Anton Gradišek, Psihijatrija v koraku z razvojem umetne inteligence: izzivi in možnosti uporabe v diagnostiki ter terapiji, Ljubljana, 7. 12. 2023
15. Junoš Lukan, Mitja Luštrek, Nina Reščič, WideHealth Winter School on Trustworthy AI, Potsdam, Nemčija, 14.-17. 3. 2023
16. Mitja Luštrek, 2023 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp 2023, Cancun, Mehika, 8.-12. 9. 2023 (1)
17. Nina Reščič, International Conference on Applied Mathematics and Computer Science, ICAMCS, Lefkada, Grčija, 8.-10. 8. 2023 (1)
18. Nina Reščič, IEEE International Conference on Big Data, Sorrento, Italija, 15.-18. 12. 2023 (1)
19. Gašper Slapničar, The Sixth International Workshop on Computer Vision for Physiological Measurement, CVPM 2023, 18. 6. 2023 (virtualno)
20. David Susič, Machine Learning and Advanced Statistics Summer School, Madrid, Španija, 19.-30. 6. 2023
21. Tea Tušar, Challenges in Benchmarking Optimization Heuristics, Dagstuhl Seminar 23251, Wadern, Nemčija, 18.-23. 6. 2023
22. Tea Tušar, Multiobjective Optimization on a Budget, Dagstuhl Seminar 23361, Wadern, Nemčija, 3.-8. 9. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Bogdan Filipič, pomočnik vodje odseka
2. **prof. dr. Matjaž Gams, znanstveni svetnik - vodja odseka**
3. doc. dr. Anton Gradišek
4. prof. dr. Mitja Luštrek, znanstveni svetnik
5. dr. Tomaž Šef
6. doc. dr. Tea Tušar

Podoktorski sodelavci

7. dr. Carlo Maria De Masi*, odšel 1. 7. 2023
8. dr. Vito Janko*, odšel 1. 5. 2023
9. dr. Aleš Tavčar*, odšel 1. 4. 2023

Mlajši raziskovalci

10. Andrejaana Andova, mag. inf. in kom. tehnologij
11. *Emilija Kizhevska, MSc., Makedonija, odšla 3. 4. 2023*
12. dr. Jana Krivec*
13. Junoš Lukan, MSc, Združeno kraljestvo VB in Severne Irske
14. Gašper Slapničar, mag. inž. rač. in inf.
15. David Susič, mag. fiz.
16. Aljoša Vodopija*, mag. mat.

Strokovni sodelavci

17. Zoja Anžur, dipl. psih. (UN)
18. Ana Arnez*, mag. farm., odšla 16. 1. 2023
19. Jordan Nicholas Cork
20. Jure Grabnar, mag. inž. rač. in inf., odšel 9. 7. 2023
21. Marko Jordan, mag. fin. mat.

22. Primož Kocuvan, mag. inž. el.
23. Žiga Kolar, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
24. Sebastjan Kramar, univ. dipl. inž. rač. in inf.
25. Maj Smerkol, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
26. Jakob Valič, mag. teol., odšel 1. 5. 2023
27. Zdenko Vuk, dipl. inž. rač. in inf. (VS), odšel 1. 2. 2023

Tehniški in administrativni sodelavci

28. Vesna Koricki, dipl. org. tur.
29. Mitja Lasič
30. Liljana Lasič
31. Blaž Mahnič, dipl. inž. rač. in inf.
32. Marcel Franse Martinšek, odšel 6. 9. 2023
33. Mateja Mavrič, mag. ekon. ved
34. Nina Reščič, univ. dipl. mat.
35. Lana Zemljak

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. AIDISA – Association for Research, Development and Innovation of the Agri-Food Sector, La Rioja, Španija
2. Aitown, s.r.l, Genova, Italija
3. Alma Digit, s.r.l., Messina, Italija
4. Alpineon, raziskave in razvoj, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
5. Amebis, d. o. o., Kamnik, Slovenija
6. Arctur, d. o. o., Nova Gorica, Slovenija
7. Audibook, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
8. Bilbao City Council, Bilbao, Španija
9. Ca' Foscari University, Benetke, Italija
10. Caretronic, d. o. o., Kranj, Slovenija
11. Cestel cestni inženiring, d. o. o., Trzin, Slovenija
12. Colab4Food – Collaborative Laboratory for Innovation in the Agri-Food Industry, Vairao, Portugalska
13. Cologne University of Applied Sciences (TH Köln), Gummersbach, Nemčija
14. Comland, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
15. Comune di Messina, Messina, Italija
16. ConnectedCare, Dieren, Nizozemska
17. Conservas Hijos De Manuel Sanchez Basarte Sa, Navarra, Španija
18. CoronaSurveys Team, Madrid, Španija
19. Datalab tehnologije, Ljubljana, Slovenija
20. Dom Danice Vogrinec Maribor, Slovenija
21. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Nizozemska
22. Engineering Ingeneria Informatica Spa, Rim, Italija
23. EuroFIR AISBL, Bruselj, Belgija
24. EUROPATAT – European Potato Trade Association, Bruselj, Belgija
25. European Health Management Association, Bruselj, Belgija
26. Euskadi Mobility and Logistics Cluster, MLC ITS, Bilbao, Španija
27. Evropska komisija, Bruselj, Belgija
28. Fazla Gida Anonim Sirketi, Istanbul, Turčija
29. FEDERALIMENTARE – Italian Federation of the Food Industry Association, Rim, Italija
30. The Federal Department of Economic Affairs, Education and Research, Bern, Švica
31. Federation of Hellenic Food Industries (SEVT), Atene, Grčija
32. FCIências.ID – Association for Research and Development of Sciences, Lizbona, Portugalska
33. FIAB – Spanish Federation of Food and Beverage Industries, Madrid, Španija
34. FIAPA – Federation of Portuguese Agro-Food Industries, Lizbona, Portugalska
35. Firalis, Huningue, Francija
36. Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija
37. Forum Virium Helsinki OY, Helsinki, Finska
38. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, Munchen, Nemčija
39. Fundation Tecnalia Research & Innovation, Bilbao, Španija
40. Gemeente Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
41. Ghent University, Gent, Belgija
42. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana
43. Hacettepe University Rectorate Sihhiye, Ankara, Turčija
44. The Hasso Plattner Institute, Potsdam, Nemčija
45. Health Insurance and Reinsurance Institute of Federation of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, Bosna in Hercegovina
46. Heinrich-Heine University Düsseldorf, Düsseldorf, Nemčija
47. IMDEA Networks Institute, Madrid, Španija
48. Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, Združeno kraljestvo
49. INEA – Informatizacija, energetika, avtomatizacija, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
50. INRIA Saclay – Île-de-France, Saclay, Francija
51. Institute de Recerca Sant Pau - Centre CERCA, Barcelona, Španija
52. Instituto Superior de Agronomia (ISA), Lizbona, Portugalska
53. International University of Sarajevo, Sarajevo, Bosna in Hercegovina
54. IRCGS Burlo Garofolo – Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico, Trst, Italija
55. ISEKI-Food Association, Dunaj, Avstrija
56. Jamk University of Applied Sciences, Jyväskylä, Finska
57. Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS, Ljubljana
58. Johannes Kepler University Linz, Avstrija
59. Klinik für Dermatologie und Venerologie – Uniklinik Köln, Köln, Nemčija
60. Kolektor Sisteh, d. o. o., Idrija, Slovenija
61. Luxemburg Institute of Health, Luxemburg
62. L-tek Elektronika, Šentjerne, Slovenija
63. L'ANIA – L'Association Nationale des Industries Alimentaires, Pariz, Francija
64. LVA – Lebensmittelversuchsanstalt, Dunaj, Avstrija
65. Mahle Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
66. Marovt, d. o. o., Stranice, Slovenija
67. Maastricht University, Maastricht, Nizozemska
68. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
69. Metronic, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
70. MIT Media Lab, Boston, ZDA
71. Municipality of Miglierina, Miglierina, Italija
72. Nacionalni institut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
73. National and Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
74. Onkološki inštitut, Ljubljana, Slovenija
75. Open University in the Netherlands, Heerlen, Nizozemska
76. Otto-von-Guericke-University Magdeburg, Nemčija
77. Paris-Saclay University, Pariz, Francija
78. Policlinico San Donato SpA, San Donato Milanese, Italija
79. Pharmacie Principale, Ženeva, Švica
80. Pharmahungary Group, Budimpešta, Madžarska
81. PKCR-FFDI – Potravinarska Komora Ceske Republike, Praga, Češka
82. Poznań Supercomputing and Networking Center, Poznań, Poljska
83. Public Health Institution Health Center Tivat, Tivat, Crna gora
84. Result računalniški sistemi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
85. Regional Development Fund of Central Macedonia, Thessaloniki, Grčija
86. Robotina, d. o. o., Kozina, Slovenija
87. Rudolfovo – razvojno tehnološki center Novo mesto, Novo mesto, Slovenija
88. Saint Louis University, St. Louis, ZDA
89. Senso4S, d. o. o., Trzin, Slovenija
90. SETBIR – Turkish Milk, Meat, Food Industrialists and Producers Association, Ankara, Turčija
91. Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Kitajska
92. Special hospital for treatment and rehabilitation Merkur, Vrnjačka Banja, Srbija
93. Spread European Safety and Sustainability EEIG, Rim, Italija
94. Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Skopje, Severna Makedonija
95. Stichting Waag Society, Amsterdam, Nizozemska
96. Stichting Amsterdam UMC, Amsterdam, Nizozemska
97. Šolski center Kranj, Kranj, Slovenija
98. Store Steel, d. o. o., Štore, Slovenija
99. Taipei Medical University, Tajpej, Tajvan
100. Tartu Biotechnology Park (TBP), Tartu, Estonija
101. Tokyo University of Science, Tokio, Japonska
102. Teaching Institute for Public Health Split – Dalmatia County, Split, Hrvaška
103. Unior Kovaška industrija, d. d., Zreče, Slovenija
104. Università della Svizzera Italiana, Lugano, Švica
105. Université Paris-Est Créteil, Créteil, Francija
106. University of Coimbra, Coimbra, Portugalska
107. University of Edinburgh, Edinburgh, Združeno kraljestvo
108. University of Leipzig, Leipzig, Nemčija
109. University of Luxembourg, Luxembourg
110. University of Malaga, Malaga, Španija
111. University of Piraeus Research Centre, Pirej, Grčija
112. University of Porto, Porto, Portugalska
113. University of Reka, Faculty of Informatics and Digital Technologies, Reka, Hrvaška
114. University of Southern California, Los Angeles, ZDA
115. University of Southern Denmark, Odense, Danska
116. University of Split School of Medicine, Split, Hrvaška
117. University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugalska
118. University of Trieste, Trst, Italija
119. University of Veterinary Medicine Budapest, Budimpešta, Madžarska
120. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
121. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
122. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
123. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
124. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
125. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
126. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, Slovenija
127. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
128. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
129. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
130. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
131. Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta, Nova Gorica, Slovenija
132. Univerzitetna klinika Golnik, Ljubljana, Slovenija
133. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
134. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije Soča, Ljubljana, Slovenija
135. U.V. E. SA., Navarra, Španija
136. VIMOSZ – Hungarian Hospitality Employers' Association, Budimpešta, Madžarska
137. Vrije Universiteit Brussel, Bruselj, Belgija
138. Wiise SRL società benefit, Rim, Italija
139. Zveza društev slepih in slabovidnih Slovenije, Ljubljana, Slovenija

Na Odseku za reaktorsko tehniko potekajo osnovne in aplikativne raziskave s področja jedrske tehnike in varnosti. Raziskave zajemajo: teoretične in eksperimentalne raziskave osnovnih termohidrodinamičnih pojavov, varnostne analize fisijskih in fuzijskih reaktorjev in trdnostne varnostne analize. Večina raziskav je vključenih v različne oblike mednarodnega sodelovanja. Rezultate raziskav vključujemo v projekte za industrijo in Upravo RS za jedrsko varnost ter v dodiplomsko in podiplomsko izobraževanje.

Modeliranje osnovnih termohidrodinamičnih pojavov

Pri raziskavah dvofaznih tokov plin-kapjevina smo s programom za računske dinamiko tekočin (angl. Computational Fluid Dynamics – CFD) OpenFoam simulirali Taylorjev mehur (v obliki izstrelka, ki zavzema skoraj ves prerez cevi) v laminarnem in turbulentnem protoku. Uporabljena je bila metoda velikih vrtincev (angl. Large Eddy Simulation – LES) skupaj z metodo VOF (angl. Volume of Fluid) in izboljšano metodo geometrične rekonstrukcije medfazne površine PLIC (angl. Piecewise Linear Interface Capturing). Rezultati so bili validirani z eksperimentalnimi meritvami iz odsečnega laboratorija THELMA. Simulacije so izboljšale napovedi hitrosti razpadanja mehurja v laminarnem toku, vendar še vedno precenjujejo hitrost razpadanja v turbulentnem toku. Zato je bil predlagan nov model, pri katerem je površinska napetost odvisna od ukrivljenosti medfazne površine. Model je bil razvit in testiran najprej v dvorazsežnih simulacijah, pri čemer se je izkazalo, da uspešno duši tvorjenje majhnih mehurčkov za repom Taylorjevega mehurja.

Na področju razvoja metod za simuliranje večfaznih tokov smo sodelovali s HZDR (Rossendorf, Nemčija) v okviru projekta CROSSING. Pri tem se ukvarjamo predvsem s hibridnim dvofluidnim pristopom in modeli prenosa gibalne količine, toplote in snovi, ki se lahko prilagajajo lokalni morfologiji medfazne površine glede na resolucijo računske mreže. Tak pristop bi lahko ponudil dober kompromis med natančnostjo in računskim časom ter je namenjen praktičnim simulacijam industrijskih aplikacij.

Pri modeliranju konvektivnega podhlajenega vrenja smo analizirali populacijski model velikosti mehurčka, ki smo ga uporabili za CFD simulacije vrenja v navpični cevi eksperimenta DEBORA (CEA, Francija). Proučevali smo vpliv modelov združevanja in razpadanja mehurčkov na porazdelitev pare v cevi. Izkazalo se je, da na rezultate najbolj vpliva model združevanja, predvsem prispevek trkov med mehurčki zaradi turbulence.

Do parne eksplozije ali problema hladljivosti razbitkov taline med težko nesrečo v jedrski elektrarni (JE) bi lahko prišlo, če bi staljena reaktorska sredica prišla v stik s hladilom. Nadaljevali smo študije parnih eksplozij v razslojenih razmerah, ko se plast taline nahaja pod plastjo hladila. Razviti model nastanka mešalne plasti, ki smo ga vgradili v program MC3D (IRSN, Francija), smo uporabili za nadaljnje simulacije nastanka mešalne plasti in parnih eksplozij v reaktorskih razmerah. Na podlagi preteklih raziskav, ki so nakazovale potencialen prispevek k mešanju taline in hladila (poleg mešalne plasti) tudi zaradi razpadanja curka taline, smo nadaljevali z raziskavami interakcije taline s hladilom v kombinaciji curka taline in razslojenih razmer. Za izboljšanje razumevanja prenosa toplote med eksplozijsko fazo smo nadaljevali s simulacijami plastnega uparjanja z uporabo razvitega dinamičnega modela. Nadaljevali smo tudi z raziskavami hladljivosti razcepov taline, hlajenih z zgornje strani. Pri tem smo s programom MC3D izvedli več simulacij eksperimentov, opravljenih na napravi FLOAT (IKE, Stuttgart, Nemčija).

Eksperimentalne raziskave v laboratoriju THELMA

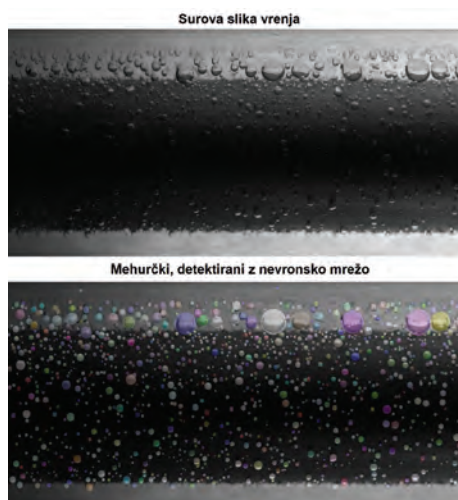
V odsečnem laboratoriju za termohidravliko večfaznih tokov (THELMA) smo nadaljevali z eksperimenti konvektivnega vrenja v geometriji, ki predstavlja del gorivne palice v svežnju lahkovodnega jedrskega reaktorja. Prvič po letu 2018 je bila ta eksperimentalna naprava razstavljena, da smo lahko zamenjali testno sekcijo z novo, s katero je možno doseči vsaj dvakrat višje toplotne tokove. Pri tem smo izmerili in karakterizirali hrapavost površine na stari in novi testni sekciji ter določili kontaktne kote hladila na površini. Dokončane so bile tudi druge modifikacije, ki nam zdaj omogočajo različne smeri tokov primarnega ali sekundarnega fluida v sotočnem ali protitočnem režimu. Poleg izboljšanja kakovosti slik vrenja, zajetih s hitro kamero, smo v sodelovanju s HZDR izboljšali metodo analize slik z nevronskimi mrežami. Tako pridobljene porazdelitve velikosti mehurčkov se uporabljajo za razvoj populacijskih modelov velikosti mehurčkov v računski dinamiki tekočin.



Vodja:

prof. dr. Leon Cizelj

Z novo, izboljšano testno sekcijo za konvektivno vrenje lahko dosežemo dvakrat višje toplotne tokove.



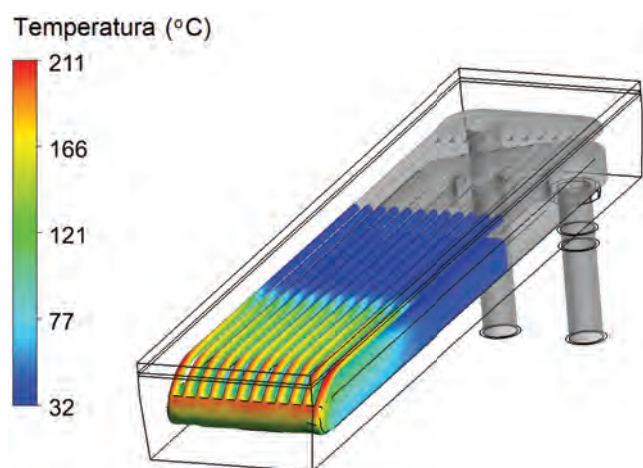
Slika 1: Konvektivno vrenje v obročastem kanalu v vodoravni orientaciji. Zgoraj: slika, zajeta s hitro kamero. Spodaj: parni mehurčki, zaznani s pomočjo tehnike nevronske mreže.

Raziskave čepastih dvofaznih tokov smo nadaljevali s proučevanjem Taylorjevih mehurjev v laminarnem in turbulentnem toku v sodelovanju s CEA. Hitrost kapljevite faze smo izmerili z metodo sledenja delcev (angl. Particle Image Velocimetry) v kombinaciji z uporabo tehnike LIF (ang. Laser Induced Fluorescence). Da bi ublažili optične odboje na medfazni površini plin-kapljevina in povečali natančnost meritev hitrosti, smo vpeljali novo tehniko, ki združuje podatke iz optičnih in PIV slik obravnavanega dvofaznega toka. Optične slike so bile namreč obdelane z algoritmom za prepoznavanje medfazne površine, kar je omogočilo ekstrakcijo oblike mehurja in njegovega gibanja v vsakem časovnem koraku. Ti podatki so bili uporabljeni za dinamično maskiranje Taylorjevih mehurjev v posnetkih PIV. S testiranjem na Taylorjevih mehurjih v laminarnih tokovih sta bili dokazani učinkovitost in sposobnost metode prepoznavanja šibkih sekundarnih vrtincev v toku, ki nam jih z obstoječimi metodami do zdaj ni uspelo zaznati. Te meritve se uporabljajo za validacijo zgoraj omenjenih simulacij Taylorjevih mehurjev v režimu turbulentnega protitoka. Partner CEA je reproduciral dani tokovni režim z zelo natančno metodo, ki direktno rešuje Navier-Stokesove enačbe in hkrati sledi medfazni površini (angl. Front Tracking Method). Rezultati simulacij pravilno napovejo obliko mehurja in hitrostnega polja; manjša odstopanja obstajajo le v napovedi obstoja sekundarnih tokov znotraj mehurja. Poleg tega sodelujemo tudi pri študiju hidravličnega skoka, ki je pri meritvah vedno opazen na medfazni površini mehurja, vendar ga do zdaj numerične simulacije niso uspele napovedati.

Varnostne analize fisijskih in fuzijskih reaktorjev

Evropski projekt SEAKNOT obravnava težke nesreče v lahkovodnih JE z naslednjimi nameni: identifikacija pojavov med nesrečami, za katere je nadaljevanje raziskav nujno; ustvarjanje imenika baz obstoječih eksperimentalnih podatkov; razvoj mreže eksperimentalnih infrastruktur; širjenje obstoječega in na novo ustvarjenega znanja. V letu 2023 smo vzpostavili prvi seznam pojavov in nabor eksperimentalnih podatkov, pri čemer je IJS vodja nalog na področju pojavov v zadrževalnem hramu JE.

Namen evropskega projekta ASSAS je uporaba metod umetne inteligence za simulacije težkih nesreč. Ker so zaradi zapletenosti nekaterih pojavov simulacije na osnovi fizikalnih zakonitosti preveč dolgotrajne, da bi bilo mogoče razviti ustrezen simulator za težke nesreče, je osnovna zamisel nekatere tovrstne modele nadomestiti s t. i. surogatnimi modeli, ki ne temeljijo na osnovnih fizikalnih zakonitostih, vendar so sposobni izračunati dovolj podobne rezultate v občutno krajšem času. V letu 2023 smo v sodelovanju z Odsekom za tehnologije znanja definirali splošno metodologijo uporabe strojnega učenja za razvoj surogatnih modelov. Pri tem sta bili obravnavani naslednji vprašanji: 1) razvijati globalne ali časovno-koračne modele? 2) obravnavati posamezne fizikalne pojave ali posamezne sisteme JE? Poleg tega smo za validacijo surogatnih modelov evidentirali primerne metrike: metodo najmanjših kvadratov, metodo, temelječo na hitri Fourierjevi transformaciji, in Wassersteinovo metriko.



Slika 2: Izračunana porazdelitev temperature na stenah hladilnega kanala novega hladilnega elementa divertorja W7-X.

Izvedli smo analizo optimizacije učinkovitosti zasnove hladilnega kanala za stelarator W7-X z uporabo trenutnega lokalnega popisa pojavov.

V okviru raziskovalnega programa CAMP (Jedrska regulatorna komisija ZDA) smo s sistemskim termohidravličnim programom RELAP5 izvedli analizo negotovosti in občutljivosti male izlivne nesreče z zlomom v vroči veji dvozančnega tlačnovodnega reaktorja; to predstavlja scenarij s hitrim ohlajanjem, ki lahko povzroči visokotlačni toplotni šok v reaktorski tlačni posodi. Izvedenih je bilo več kot 200 preračunov, pri čemer je bila analiza negotovosti in občutljivosti narejena s programskim orodjem SUSA (Software for Uncertainty and Sensitivity Analyses). Pri tem smo pri analizi občutljivosti med 15 izbranimi vhodnimi negotovimi parametri spreminjali po enega.

Evropski projekt AMHYCO obravnava ukrepanje za preprečitev zgorevanja vodika in ogljikovega monoksida v zadrževalnem hramu JE v primeru težke nesreče. S sistemskim programom ASTEC (IRSN) smo izvajali simulacije razporeditve omenjenih gorljivih plinov v generičnem modelu hrama, vendar brez blaženja njunega vpliva z uporabo varnostnih sistemov. Končni cilj projekta je izboljšanje smernic za obvladovanje težkih nesreč.

V okviru evropskega fuzijskega projekta WPDES smo nadaljevali analizo toplotnih obremenitev aktiviranih notranjih komponent vakuumске posode fuzijskega reaktorja DEMO med nezgodnim scenarijem izgube hladila. Oceno pregrevanja pasivnih komponent zaradi zaostale toplote vsled naravne konvekcije vpihanega plina smo izvedli na podlagi nestacionarnih simulacij CFD. Pokazali smo, da z zasnovo dveh zank

hladilnega sistema znižamo maksimalne temperature oplodnih oblog med nezgodo in dosežemo hitrejše ohlajanje sistema. Delo je potekalo v sodelovanju z EUROfusion – Programme Management Unit (Garching, Nemčija).

V okviru evropskega fuzijskega projekta DIV-W7X razvijamo vodno hlajeni element diverterja za stelarator W7-X v Greifswaldu (Nemčija). Izvedli smo CFD-analizo optimizacije učinkovitosti meanderske zasnove hladilnega kanala s tremi U-zavoji, s spiralnim vložkom in brez njega. Analiza je pokazala, da optimizacija oblike zavoja ne poveča bistveno prenosa toplote, znatno pa poveča padec tlaka. Prav tako je bil zanemarljiv vpliv podaljšanja in orientacije spiralnega vložka. Namesto obstoječe zasnove je bila tako predlagana nova, bolj učinkovita izvedba hlajenja s dvanajstimi manjšimi vzporednimi cevmi, ki je pokazala bistveno izboljšanje prenosa toplote in zmanjšanje padca tlaka.

Za fuzijski reaktor DEMO smo s sistemskim programom MELCOR for Fusion nadaljevali analizo izgube vakuumu v kriostatu zaradi večjega vdora helija. Izvedli smo parametrično študijo za različne velikosti zlomov, s pomočjo katere smo določili število razbremenilnih diskov tako, da niso bili preseženi projektni tlaki za kriostat. Delo je potekalo v okviru evropskega fuzijskega projekta WPSAE.

Trdnostne varnostne analize

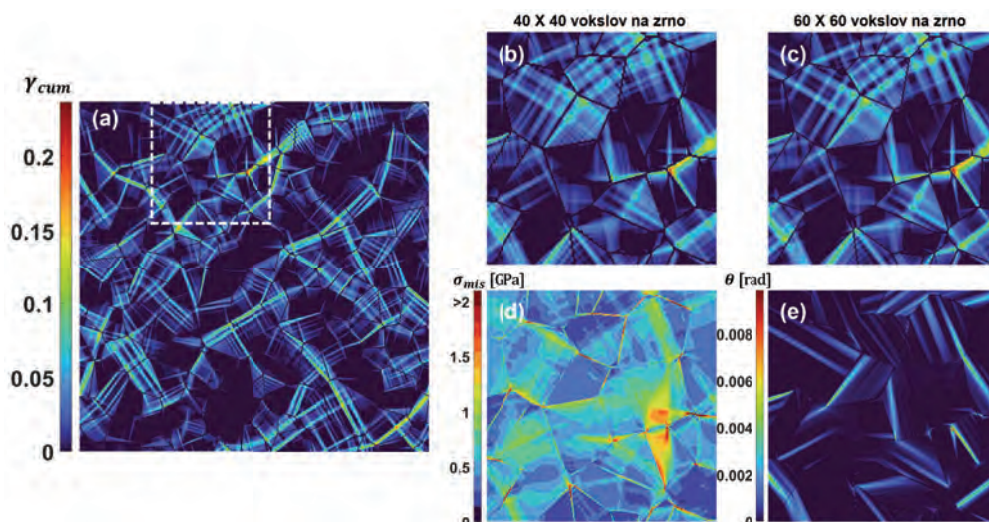
Raziskovalna dejavnost je bila osredotočena na proučevanje nastanka medkristalnih napetostno-korozijskih razpok, še zlasti na mikromehanski vidik začetne faze. Pri tem smo predpostavili, da je vpliv lokalnega napetostnega polja mogoče ločiti od vpliva zunanjega okolja tako, da se mejam med kristalnimi zrni pripiše ustrezen tip v skladu z njihovo mehansko trdnostjo. Na mejah posameznega tipa smo nato proučevali porazdelitve normalnih napetosti, s katerimi lahko določimo verjetnost za nastanek medkristalne razpoke.

Predlagan je bil nov pristop k napovedovanju porazdelitev medkristalnih normalnih napetosti, in sicer prek uporabe simetrije idealno elastičnega polikristalnega materiala, kot so makroskopska mehanska izotropnost polikristala in linearni odziv posameznih kristalnih zrn.

Predhodno vpeljeni model blažilnih zrn za napovedovanje induciranih medkristalnih napetosti pod vplivom uniformne zunanje obremenitve smo nadgradili v bikristalni model. Poglavitna razlika med predlaganima modeloma je v tem, da v bikristalnem modelu upoštevamo celoten nabor robnih pogojev, ki veljajo na mejah zrn. Posledično je tudi opis napetostnega polja v polikristalu bolj realističen. Rezultati preverjanja napovedi bikristalnega modela v numeričnih simulacijah z metodo končnih elementov kažejo dobro ujemanje za materiale s kubično simetrijo kristalne rešetke.

Za simuliranje mehanskega odziva obsevanega avstenitnega nerjavnega jekla v odvisnosti od prejete radiacijske doze smo razvili lasten program, ki temelji na homogenizacijski metodi z uporabo hitre Fourierjeve transformacije. Rezultati so bili uspešno potrjeni z večnamensko programsko kodo Abaqus.

Oblikovali smo teorijo kristalne plastičnosti prek uporabe gradienta deformacij in jo uspešno vključili v lastno programsko kodo. To omogoča učinkovito naslavljanje in blaženje numeričnih nestabilnosti, s čimer analiza pridobi na robustnosti. Opisana metoda je bila uporabljena za natančno napovedovanje lokalizacije deformacij v polikristalnih materialih kot posledica učinkov sevanja.



Slika 3: Rezultat simulacije kristalne plastičnosti prek uporabe gradienta deformacij: (a) porazdelitev kumulativne strižne deformacije v 2D polikristalnem agregatu; (b) in (c) ista količina pri dveh ločljivostih mreže; (d) in (e) von-Misesova napetost in zasuk kristalne mreže.

Na področju termičnega utrujanja zaradi mešanja toka tekočine smo v sodelovanju z North China Electric Power University opravili študijo toplotnega razslojevanja toka za kolenom cevi. Pri tem so bile uporabljene metoda CFD in termomehanske analize. Poudarek raziskav je bil na proučevanju nihanj temperature v prečni smeri in pojavu

Oblikovali smo teorijo kristalne plastičnosti prek uporabe gradienta deformacij in jo uspešno vključili v lastno programsko kodo za simuliranje lokalizacije deformacij v obsevanih polikristalnih materialih.

povečanega mešanja toka pri različnih presekih kolena ter njihovem vplivu na tveganje poškodb zaradi utrujenosti materiala.

V okviru evropskega projekta APAL smo se ukvarjali z razvojem naprednih metod za študij toplotnega šoka pod tlakom in njihovim vrednotenjem. Ocenjeni so bili varnostni dejavniki za dolgoročno obratovanje jedrskih elektrarn z upoštevanjem termohidravličnih negotovosti, ki vstopajo v deterministične analize strukturne celovitosti.

Pri fuzijskih raziskavah smo se osredotočili na termomehanske analize in analize strukturne celovitosti komponente divertorja tokamaka, ki je v neposrednem stiku s plazmo. V analizi smo za plazmo obravnavali tri različne scenarije. Pri tem smo toplotne obremenitve pridobili iz simulacij CFD, upoštevali pa smo tudi elektromagnetno obremenitev za konfiguracijo plazme enojne ničle.

Strokovno sodelovanje, svetovanje in izobraževanje

Tudi v letu 2023 smo raziskovalci Odseka za reaktorsko tehniko sodelovali pri projektih za industrijo in državno upravo. Na podlagi pooblastila Uprave RS za jedrsko varnost smo sodelovali pri pripravi strokovnega mnenja o remontnih aktivnostih JE Krško. Poleg tega smo za Upravo RS za jedrsko varnost s programom MELCOR izvedli analizo negotovosti izbranega scenarija težke nesreče v elektrarni.

Po ugotovljenem puščanju cevi varnostnega vbrizgavanja v JE Krško jeseni 2023 se je sedem raziskovalcev odseka lotilo analize vzrokov za poškodbo cevi. Ena skupina raziskovalcev je bila osredotočena na analizo mešanja toplejše in hladnejše vode v slepi cevi med normalnim delovanjem z uporabo računske dinamike tekočin; analize so pokazale na toplotno utrujenost kot možen razlog za korozijo poškodovane cevi. Druga skupina je bila usmerjena v strukturne analize pojavov v steni cevi, ki so pojasnile napetosti in deformacije na prizadetem delu.

Raziskovalci odseka predstavljamo jedro Katedre za jedrsko tehniko na Fakulteti za matematiko in fiziko (FMF) Univerze v Ljubljani in smo vključeni v izvajanje dodiplomskega študija prve stopnje programa Fizika, druge stopnje programa Jedrska tehnika ter doktorskega študija Jedrska tehnika. IJS je prek navedenih študijskih programov vključen v asociacijo ENEN (European Nuclear Education Network). Jeseni 2023 je FMF sprejela četrto – zadnjo generacijo študentov mednarodnega programa magistrskega študija jedrske tehnike SARENA, pri katerem je odsek aktivno udeležen. V letu 2023 je EU odobrila podaljšanje programa, ki bo v podobni obliki potekal v letih 2024–2029.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Leon Cizelj, Ivo Kljenak, Iztok Tiselj, Know-why? and know-how? in the development of nuclear talents: An analysis of recent nuclear engineering Ph.D. research, *Nuclear Engineering and Design*, 2023, **415**, 112734
2. Jan Kren, Boštjan Zajec, Iztok Tiselj, Samir El Shawish, Žiga Perne, Matej Tekavčič, Blaž Mikuž, Dynamics of Taylor bubble interface in vertical turbulent counter-current flow, *International Journal of Multiphase Flow*, 2023, **165**, 104482
3. Rok Krpan, Iztok Tiselj, Ivo Kljenak, Atmosphere homogenization induced by vertical jets in large enclosures, *Annals of Nuclear Energy*, 2023, **180**, 109476
4. Janez Kokalj, Mitja Uršič, Matjaž Leskovar, Renaud Meignen, Modelling and simulating of premixed layer in stratified fuel coolant configuration, *Annals of Nuclear Energy*, 2023, **185**, 109740
5. Samir El Shawish, Timon Mede, Grain boundary stresses in elastic materials, *European Journal of Mechanics A*, 2023, **99**, 104940

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. European MELCOR and MACCS User Group (EMUG), Ljubljana, Slovenija, 12.–14. 4. 2023
2. Advanced workshop and work–package meetings of APAL project, Ljubljana, Slovenija, 9.–12. 5. 2023
3. Workshop on the safety of small modular, advanced and fusion reactors in HARMONISE project meeting, Celje, Slovenija, 20.–22. 6. 2023
4. Short course on nuclear engineering experiments, Ljubljana, Slovenija, 3.–14. 7. 2023

Nagrade in priznanja

1. Khaled Al-Athel, Abdulaziz Alyamani, Mohanad Alzahrani, Jan Kren, Blaž Mikuž, Afaq Shams: 3. nagrada za najboljši poster Experimental investigation of heating turbulent flow in a square duct using a heated foil, International Conference on Nuclear Power Engineering-SCOPE, Dhahran, Savdska Arabija
2. Mihael Boštjan Končar, Matej Tekavčič, Mitja Uršič: Prešernova nagrada za magistrsko delo Modeliranje težkih nesreč v hitrih z natrijem hlajenih jedrskih reaktorjih, Univerza v Ljubljani, Slovenija
3. Iztok Tiselj, Jan Kren, Blaž Mikuž: nagrada za najboljši prispevek Experimental study of isothermal vertical slug flow, International Conference on Nuclear Power Engineering-SCOPE, Dhahran, Savdska Arabija

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
2. H2020 - ECC-SMART; Evropsko-Kanadsko-Kitajski razvoj tehnologije malega modularnega reaktorja
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
3. H2020 - AMHYCO; K izboljššanemu obvladovanju neizgode pri tveganju zgorevanja vodika in CO
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak
4. H2020 - APAL; Napredna analiza toplotnega šoka pod tlakom za dolgoročno obratovanje
European Commission
dr. Oriol Costa Garrido
5. OE - EUROfusion; WP12: DIV-IDTT, DIV-W7X, DIV-DEMO_OE-FU
European Commission
dr. Oriol Costa Garrido
6. OE - EUROfusion; WP08: DES-1,2_OE-FU
European Commission
dr. Martin Draksler
7. OE - EUROfusion; WP19: SAE-1_OE-FU
European Commission
doc. dr. Mitja Uršič
8. OE - EUROfusion; WP25: PMU_OE-FU, RU-Mgmt-1_OE-FU
European Commission
doc. dr. Boštjan Končar
9. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
doc. dr. Boštjan Končar
10. OE - HARMONISE; Harmonizacija zahtev za pridobivanje dovoljenj za prihodnje jedrske tehnologije v Evropi
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
11. OE - SEAKNOT; Raziskovanje in upravljanje znanja na področju težkih nesreč za lahkovodne reaktorje
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak
12. OE - ENEN2plus; Razvoj evropskih jedrskih znanj s stalnimi in strukturiranimi aktivnostmi izobraževanja in usposabljanja
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
13. OE - OFFERR; Evropska platforma za dostop do naprav za jedrske raziskave in razvoj
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
14. OE - ASSAS; Umetna inteligenca za simulacijo hudih jedrskih nesreč
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak

PROGRAMI

1. Reaktorska tehnika
prof. dr. Leon Cizelj
2. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Boštjan Končar

PROJEKTI

1. Eksperimentalne in numerične raziskave vertikalnih čepastih tokov
prof. dr. Iztok Tiselj
2. Simulacija izbranih razširjenih projektnih nesreč brez taljenja sredice
doc. dr. Boštjan Končar
3. Razumevanje stratificiranih parnih eksplozij v reaktorskih razmerah
dr. Matjaž Leskover
4. Negotovosti v naprednih varnostnih analizah jedrskih objektov
dr. Andrej Prošek
5. Interakcija taline s hladilom v kombinaciji razslojenih razmer in curka taline
dr. Janez Kokalj
6. Razvoj in vzdrževanje neodvisnih strokovnih znanj in orodij za napovedovanje in analize razvoja težkih nesreč v jedrskih objektih
doc. dr. Mitja Uršič
7. Izdelava študije „Analiza negotovosti izbranega scenarija težke nesreče v NEK“
Ministrstvo za naravne vire in prostor
dr. Matjaž Leskover
8. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Boštjan Končar
9. Razvoj in vzdrževanje neodvisnih strokovnih znanj in orodij za napovedovanje in analize razvoja težkih nesreč v jedrskih objektih
Ministrstvo za naravne vire in prostor
doc. dr. Mitja Uršič
10. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
dr. Matej Tekavčič
11. Poletna šola jedrske tehnike za študente King Fahd Univ. of Petroleum & Minerals, Ljubljana, Slovenija, od 3. 7. 2023 do 14. 7. 2023
King Fahd University of Petroleum and Minerals
prof. dr. Iztok Tiselj

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Strokovna ocena remontnih del, posegov in preiskusov med zaustavitvijo Nuklearne elektrarne Krško in menjavo goriva med Remontom 2022
Elektroinštitut Milan Vidmar
doc. dr. Mitja Uršič
2. Sofinanciranje L2-4432 „Negotovosti v naprednih varnostnih analizah jedrskih objektov“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Andrej Prošek
3. Sofinanciranje Z2-4437 „Interakcija taline s hladilom v kombinaciji razslojenih razmer in curka taline“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Janez Kokalj
4. Študija morebitne termalne stratifikacije oz.
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Martin Draksler
5. Izdelava Zbirne strokovne ocene remontnih del, posegov in prizkusov med izrednim Remontom NEK 2023
Elektroinštitut Milan Vidmar
doc. dr. Mitja Uršič

OBISKI

1. Florence Levy, Francosko veleposlaništvo v Sloveniji, Ljubljana, Slovenija, 2. 3. 2023
2. Frédéric Mazallon, EDF, Francija, 2. 3. 2023
3. Alexandre Freu, Francosko veleposlaništvo v Sloveniji, Ljubljana, Slovenija, 2. 3. 2023
4. prof. Yassin A. Hassan, Univerza A&M v Teksasu, Teksas, Združene države Amerike, 4.–9. 6. 2023
5. Hirofumi Takinami, House of Councilors, Tokio, Japonska, 17. 7. 2023
6. prof. Niro Nagai, Univerza Fukui, Japonska, 17. 7. 2023
7. Tetsuji Shindo, častni konzul Slovenije, Fukui, Japonska, 17. 7. 2023
8. dr. Igor Kirillov, Državni raziskovalni center Institut Kurčatov, Moskva, Rusija, 9. 8. 2023
9. dr. Cédric Flageul, Univerza v Poitiersu, Francija, 14.–16. 8. 2023
10. Ted Jones, Nuclear Energy Institute, Washington, Združene države Amerike, 12. 10. 2023
11. Marcus Nichol, Nuclear Energy Institute, Washington, Združene države Amerike, 12. 10. 2023
12. dr. Mariano Tarantino, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development ENEA, Bologna, Italija, 27.–28. 11. 2023
13. Pietro Cioli Puviani, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development ENEA, Bologna, Italija, 27.–28. 11. 2023
14. Tommaso Del Moro, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development ENEA, Bologna, Italija, 27.–28. 11. 2023
15. Alessandro Bellomo, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development ENEA, Bologna, Italija, 27.–28. 11. 2023
16. dr. Richard Meller, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija, 13. 12. 2023
17. dr. Fabian Schlegel, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija, 13. 12. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Samir El Shawish, IJS: Intergranular cracking of irradiated austenitic stainless steels under PWR conditions, 27. 3. 2023
2. dr. Cédric Flageul, Université de Poitiers, Francija: A robust numerical time scheme for variable density flows, 16. 8. 2023
3. dr. Timon Mede, IJS: Modelling of grain boundary stresses in elastic polycrystalline materials, 20. 2. 2023
4. dr. Fabian Schlegel, HZDR, Dresden, Nemčija: A morphology-adaptive multifield two-fluid model, 13. 12. 2023
5. dr. Janko Tomc, Institut za varilstvo, Ljubljana: Welding of large pressure vessels for PWR nuclear power plants, part 1, 12. 1. 2023
6. dr. Janko Tomc, Institut za varilstvo, Ljubljana: Welding of large pressure vessels for PWR nuclear power plants, part 2, 23. 1. 2023
7. dr. Liberato Volpe, UK Atomic Energy Authority & University of Manchester, Združeno Kraljestvo: High temperature oxidation studies of Ni-base alloys: Understanding the role of the precursor Events during the early stages of stress corrosion cracking, 9. 1. 2023
8. dr. Tomaž Žagar, predsednik IJS v GEN energiji, d. o. o.: Dostopnost energije je temelj za uspešno družbo (družbeni in ekonomski vidiki oskrbe z energijo), 22. 5. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Leon Cizelj, Martin Draksler, Samir El Sahwish, Aljoša Gajšek, Ivo Kljenak, Tanja Klopčič, Janez Kokalj, Boštjan Končar, Jan Kren, Nejc Kromar, Amirhossein Lame Jouybari, Matjaž Leskovar, Timon Mede, Blaž Mikuž, Žiga Perne, Zoran Petrič, Andrej Prošek, Nina Rehar, Andrej Sušnik, Patrik Tarfila, Matej Tekavčič, Iztok Tiselj, Mitja Uršič, Boštjan Zajec, Mednarodna konferenca NENE 2023, Portorož, 11.–14. 9. 2023
2. Leon Cizelj, sestanek organizacijskega odbora projekta OFFERR, 10. 1. 2023 (virtualno)
3. Leon Cizelj, udeležba na delavnici o prihodnosti jedrske energije v EU, Praga, Češka, 11.–13. 1. 2023
4. Leon Cizelj, SNETP Odbor za mednarodne in evropske zadeve, 20. 1. 2023 (virtualno)
5. Leon Cizelj, sestanek usmerjevalnega odbora projekta OFFERR, 2. 2. 2023 (virtualno)
6. Leon Cizelj, IONE 30 Načrtni letni sestanek, 6. 2. 2023 (virtualno)
7. Leon Cizelj, seja upravnega odbora ETSON, 6. 2. 2023 (virtualno)
8. Leon Cizelj, seja upravnega odbora SNETP, 10. 2. 2023 (virtualno)
9. Leon Cizelj, SNETP FORUM 2023 – SEC, IEAC and SNETP FORWARD WP2 Session, 20. 3. 2023 (virtualno)
10. Leon Cizelj, sestanek izvršilnega odbora projekta HARMONISE, 22. 2. 2023 (virtualno)
11. Leon Cizelj, sestanek usmerjevalnega odbora projekta OFFERR, 28. 2. 2023 (virtualno)
12. Leon Cizelj, udeležba na generalni skupščini in posebnem dogodku združenja ENEN, Bruselj, Belgija, 1.–3. 3. 2023
13. Leon Cizelj, sestanek in generalna skupščina projekta OFFERR, Cadarache, Francija, 8.–10. 3. 2023
14. Leon Cizelj, uvodni sestanek za konferenco ETSON 2023, 17. 3. 2023 (virtualno)
15. Leon Cizelj, seja upravnega odbora ETSON, 21. 3. 2023 (virtualno)
16. Leon Cizelj, ECC-SMART Generalna skupščina, 21. 3. 2023 (virtualno)

17. Leon Cizelj, sestanek izvršilnega odbora projekta HARMONISE, 22. 3. 2023 (virtualno)
18. Leon Cizelj, Andrej Prošek, ECC-SMART tehnični sestanek, Budimpešta, Madžarska, 28.–31. 3. 2023
19. Leon Cizelj, dogodek EURATOM Research in Action with Commissioner Gabriel, Bruselj, Belgija, 3.–5. 4. 2023
20. Leon Cizelj, sestanek usmerjevalnega odbora projekta OFFERR, 25. 4. 2023 (virtualno)
21. Leon Cizelj, sestanek izvršilnega odbora projekta HARMONISE, 26. 4. 2023 (virtualno)
22. Leon Cizelj, vabljen predavatelj na ENYGF 23 Forumu, Krakov, Poljska, 8.–11. 5. 2023
23. Leon Cizelj, Ivo Kljenak, SNETP Forum 2023 in Generalna skupščina SNETP, Goteborg, Švedska, 14.–17. 5. 2023
24. Leon Cizelj, Ivo Kljenak, Amirhossein Lame Jouybari, Konferenca IONE 30, Kyoto, Japonska, 19.–28. 5. 2023
25. Leon Cizelj, ETSON ERG Letni sestanek, 31. 5. 2023 (virtualno)
26. Leon Cizelj, Upravni odbor in Skupščina ETSON, Konferenca New trends of nuclear reactors, Obisk Lithuanian Energy Institute, Helsinki, Finska, in Vilna in Kaunas, Litva, 13.–17. 6. 2023
27. Leon Cizelj, Tanja Klopčič, Rok Krpan, Mitja Uršič, Delavnica Workshop on the Safety of Small Modular, Advanced and Fusion Reactors in sestanek projekta HARMONISE, Celje, Slovenija, 20.–22. 6. 2023
28. Leon Cizelj, Upravni odbor in skupščina ENS, Cadarache, Francija, 28. 6.–1. 7. 2023
29. Leon Cizelj, 3rd European Nuclear Competition, Budimpešta, Madžarska, 3.–7. 7. 2023
30. Leon Cizelj, Plenarno predavanje na konferenci NURETH20, Washington, Združene države Amerike, 19.–23. 8. 2023
31. Leon Cizelj, sestanek usmerjevalnega odbora projekta OFFERR, 31. 1. 2023 (virtualno)
32. Leon Cizelj, delavnica 2nd Workshop on nuclear energy ecosystem, Luksemburg, 5.–6. 9. 2023
33. Leon Cizelj, sestanek in delavnica projekta TOURR, sestanek projekta ENEN2plus, 20-letnica delovanja združenja ENEN, Bruselj, Belgija, 20.–23. 9. 2023
34. Leon Cizelj, generalna konferenca IAEA, Dunaj, Avstrija, 25.–28. 9. 2023
35. Leon Cizelj, Mitja Uršič, konferenca in sestanki ETSON, Bruselj, Belgija, 9.–13. 10. 2023
36. Leon Cizelj, konferenca New deal for Nuclear Energy: What consequences for nuclear industry?, Bruselj, Belgija, 19.–20. 10. 2023
37. Leon Cizelj, EC delavnica Competences for medical applications of nuclear science, Petten, Nizozemska, 23.–25. 10. 2023
38. Leon Cizelj, Iztok Tiselj, Konferenca SCOPE, Dhahran, Savdska Arabija, 11.–17. 11. 2023
39. Leon Cizelj, dogodek 60th anniversary of the establishment of JRC site in Karlsruhe, Karlsruhe, Nemčija, 22.–24. 11. 2023
40. Leon Cizelj, sestanek OECD/NEA in dogodek IRSN ASTEC, Pariz, Francija, in Bruselj, Belgija, 4.–8. 12. 2023
41. Leon Cizelj, sestanek usmerjevalnega odbora projekta OFFERR, 12. 12. 2023 (virtualno)
42. Leon Cizelj, generalna skupščina ENS, Bruselj, Belgija, 13.–15. 12. 2023
43. Leon Cizelj, sestanek izvršilnega odbora projekta HARMONISE, 19. 12. 2023 (virtualno)
44. Leon Cizelj, generalna skupščina projekta OFFERR, 19. 12. 2023 (virtualno)
45. Oriol Costa Garrido, Andrej Prošek, delavnica in sestanek projekta APAL Advanced workshop and work-package meetings of APAL project, Ljubljana, Slovenija, 9.–12. 5. 2023
46. Oriol Costa Garrido, sestanek o napredku projekta APAL, Erlangen, Nemčija, 11.–14. 9. 2023
47. Martin Draksler, letno znanstveno-strokovno srečanje: End-of-year DEMO technical workshop, 14.–15. 12. 2023 (virtualno)
48. Aljoša Gajšek, Jan Kren, udeležba na mednarodnem izobraževalnem tečaju 38th Short Courses on Multiphase Flows, Zurich, Švica, 12.–18. 2. 2023
49. Ivo Kljenak, letni sestanek NUGENIA TA2, Karlsruhe, Nemčija, 14.–17. 2. 2023
50. Ivo Kljenak, vmesni sestanek projekta SEAKNOT, Karlsruhe, Nemčija, 18.–21. 4. 2023
51. Ivo Kljenak, predavanje Hydrogen Risk na tečaju Severe Accident Phenomenology Course, Madrid, Španija, 19.–22. 6. 2023
52. Ivo Kljenak, letni sestanek projekta SEAKNOT, Cadarache, Francija, 3.–7. 10. 2023
53. Ivo Kljenak, delavnica in sestanek konzorcija projekta AMHYCO, Orleans, Francija, 15.–19. 10. 2023
54. Ivo Kljenak, 2. letni sestanek projekta ASSAS, Madrid, Španija, 10.–14. 12. 2023
55. Janez Kokalj, udeležba na srečanju in delavnici NUGENIA TA2.1 in TA2.2, 13.–14. 2. 2023 (virtualno)
56. Janez Kokalj, Rok Krpan, Matjaž Leskovar, Delavnica 14th Meeting of the European MELCOR and MACCS User Group (EMUG), Ljubljana, Slovenija, 12.–14. 4. 2023
57. Janez Kokalj, sestanek glavnega odbora ENS YGN in ENYGF23 Forum, Krakov, Poljska, 5.–13. 5. 2023
58. Janez Kokalj, Rok Krpan, Boštjan Zajec, udeležba na konferenci mladih jedrskih strokovnjakov, Brinje, Dol pri Ljubljani, 1. 6. 2023
59. Janez Kokalj, delavnica PILSMR 2023–The Pilzen International SMR workshop, Plzen, Češka, 22.–28. 10. 2023
60. Janez Kokalj, Mednarodna delavnica International Workshop on Fuel-Coolant Interaction and Steam explosion, Pariz, Francija, 7.–10. 11. 2023
61. Boštjan Končar, udeležba na sestanku SOFT-OIC, Split, Hrvaška, 26.–27. 1. 2023
62. Boštjan Končar, 42. generalna skupščina EUROfusion, Budimpešta, Madžarska, 4.–6. 4. 2023
63. Boštjan Končar, vmesni sestanek projekta W7X, Greifswald, Nemčija, 25.–28. 6. 2023
64. Boštjan Končar, 43. generalna skupščina EUROfusion, Cadarache, Francija, 17.–20. 7. 2023
65. Boštjan Končar, Patrik Tarfila, WPDIV-IDTT End-of-Year Monitoring Meeting, Garching, Nemčija, 4.–5. 12. 2023
66. Boštjan Končar, 45. generalna skupščina EUROfusion, Eindhoven, Nizozemska, 11.–14. 12. 2023

67. Jan Kren, delovni obisk na Institutut KURNS in udeležba na konferenci ICMF The 11th International Conference on Multiphase Flow, Kyoto in Kobe, Japonska, 17. 3.–9. 4. 2023
68. Rok Krpan, Delavnica International Workshop on Hydrogen Safety for Nuclear Power Plants, Pariz, Francija, 18.–21. 1. 2023
69. Rok Krpan, Delavnica Joint ICTP-IAEA Workshop on Open-Source Nuclear Codes for Reactor Analysis, Miramar, Italija, 7.–11. 8. 2023
70. Rok Krpan, Mitja Uršič, Delavnica ETSON JSP Summer Workshop 2023, Manchester, Velika Britanija, 22.–28. 10. 2023
71. Rok Krpan, Delavnica z deležniki projekta HARMONISE, 11. 12. 2023 (virtualno)
72. Matjaž Leskovar, CSARP/MCAP srečanje, 5.–9. 6. 2023 (virtualno)
73. Blaž Mikuž, Konferenca NURETH 20, Washington, Združene države Amerike, 18.–28. 8. 2023
74. Andrej Prošek, Generalna skupščina ECC-SMART, 21. 3. 2023 (virtualno)
75. Andrej Prošek, EU Strategic Autonomy and the Future Energy Systems, 4. 4. 2023 (virtualno)
76. Andrej Prošek, sestanek Spring 2023 CAMP, Budimpešta, Madžarska, 22.–26. 5. 2023
77. Andrej Prošek, projektni sestanek po treh letih izvajanja projekta ECC-SMART, Ottawa, Kanada, 24. 9.–1. 10. 2023
78. Andrej Prošek, sestanek Fall 2023 CAMP, Washington, Združene države Amerike, 13.–18. 11. 2023

79. Andrej Sušnik, obisk Inštituta za fiziko v Beogradu, Beograd, Srbija, 23.–25. 10. 2023
80. Matej Tekavčič, Boštjan Zajec, udeležba na konferenci CFD4NRS-9, Teksas, Združene države Amerike, 19.–24. 2. 2023
81. Matej Tekavčič, Iztok Tiselj, delavnica Our joint ambition ter konferenca in kratak tečaj 19th Multiphase Flow, Dresden, Nemčija, 16.–23. 6. 2023
82. Mitja Uršič, 17. usmerjevalni sestanek odbora foruma organizacij za tehnično in znanstveno podporo IAEA, Dunaj, Avstrija, 25.–27. 1. 2023
83. Mitja Uršič, 2. sestanek programskega odbora za mednarodno konferenco IAES 2024, Dunaj, Avstrija, 27.–28. 4. 2023
84. Mitja Uršič, 18. usmerjevalni sestanek odbora foruma organizacij za tehnično in znanstveno podporo IAEA, Dunaj, Avstrija, 23. 10. 2023

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Jan Kren: Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science (KURNS), Kyoto University, Kyoto, Japonska, 17. 3.–1. 4. 2023 (izobraževanje o stanju eksperimentalnih metod v dinamiki tekočin)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Leon Cizelj, znanstveni svetnik - vodja odseka**
2. dr. Oriol Costa Garrido
3. dr. Martin Draksler
4. dr. Samir El Shawish
5. doc. dr. Ivo Kljenak, znanstveni svetnik
6. doc. dr. Boštjan Končar
7. dr. Matjaž Leskovar
8. dr. Blaž Mikuž
9. dr. Andrej Prošek
10. prof. dr. Iztok Tiselj, znanstveni svetnik
11. dr. Mitja Uršič

Podoktorski sodelavci

12. dr. Janez Kokalj
13. dr. Rok Krpan
14. dr. Timon Mede
15. dr. Matej Tekavčič
16. dr. Boštjan Zajec

Mlajši raziskovalci

17. Aljoša Gajšek, mag. jedr. teh.
18. Jan Kren, mag. jedr. teh.
19. Amirhossein Lame Jouybari, Msc., Iran
20. Patrik Tarfila, mag. inž. str.

Strokovni sodelavci

21. Nejc Kromar, dipl. inž. str.
22. Žiga Perne, dipl. inž. str. (VS)
23. Andrej Sušnik, dipl. inž. str.

Tehniški in administrativni sodelavci

24. Tanja Klopčič
25. Zoran Petrič, univ. dipl. fiz.
26. Nina Rehar, prof. lik. umet.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. American Society of Mechanical Engineers, ZDA
2. Becker Technologies GmbH, Eschborn, Nemčija
3. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Pariz, Francija
4. CEA - Institut national des sciences et techniques nucléaires (CEA-INSTN), Gif-sur-Yvette, Francija
5. Electricité de France (EDF), Chatou, Francija
6. Elektrolinstitut Milan Vidmar, Ljubljana
7. European Nuclear Education Network (ENEN), Bruselj, Belgija
8. European Nuclear Society, Bruselj, Belgija
9. European Technical Safety Organisations Network (ETSON)
10. GEN energija, d. o. o., Krško
11. Harbin University of Technology, Harbin, Kitajska
12. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Nemčija
13. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), St.Paul-lez-Durance, Francija
14. Institute for Nuclear Technology and Energy Systems (IKE), Stuttgart, Nemčija
15. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
16. Joint Research Centre (JRC), Institute of Energy, Petten, Nizozemska
17. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Nemčija
18. Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, Južna Koreja
19. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), Petten, Nizozemska
20. Nuklearna elektrarna Krško
21. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/Nuclear Energy Agency (NEA), Pariz, Francija
22. Paul Scherrer Institute (PSI), Villigen, Švica
23. Royal Institute of Technology (KTH), Nuclear Reactor Technology Division, Stockholm, Švedska
24. Studiecetrum voor Kernenergie, Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK-CEN), Mol, Belgija
25. Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP)
26. Texas A&M University, ZDA
27. U.S. Nuclear Regulatory Commission (US NRC), Washington D.C., ZDA
28. Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Pisa, Italija
29. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
30. Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana

REAKTORSKI INFRASTRUKTURNI CENTER

RIC

Reaktorski infrastrukturni center (RIC) vključuje raziskovalni reaktor TRIGA Mark II in Objekt vročo celico (OVC). Reaktor, ki obratuje že od leta 1966, se uporablja kot vir nevtronov za raziskave, za izobraževanje in usposabljanje ter za proizvodnjo radioaktivnih izotopov. Podrobnejši tehnični podatki o reaktorju so na spletni strani ric.ijs.si. OVC je namenjen delu z radioaktivnimi snovmi in radioaktivnimi odpadki za potrebe raziskovalnih, razvojnih in tržnih programov ter projektov. V njem se izvajajo tudi redne meritve radiološkega nadzora reaktorja. Osebe RIC upravlja in vzdržuje reaktor in OVC, poleg tega pa sodeluje tudi pri drugih delih, ki zahtevajo usposobljene strokovnjake na sevalnem in jedrskem področju, na primer vzdrževanje zaprtih radioaktivnih virov, sodelovanje pri remontu NE Krško ter karakterizacija, obdelava in priprava radioaktivnih odpadkov.



Vodja :
prof. dr. Borut Smodiš

Reaktor je v letu 2023 obratoval 572 ur oziroma je v 140 dneh proizvedel 92,1 MWh toplote. Narejenih je bilo 35 pulzov in obsevanih 579 vzorcev v obsevalnih kanalih.

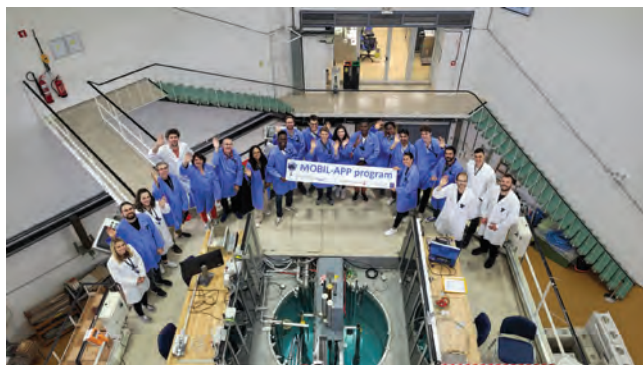
Operatorji reaktorja podpirajo uporabnike z izvajanjem dejavnosti in storitev, za katere raziskovalci niso usposobljeni in pooblašeni, kot so upravljanje reaktorja, izvajanje obsevanj in eksperimentov ter rokovanje z obsevanimi vzorci.

Reaktor TRIGA Mark II se je v letu 2023 večinoma uporabljal kot vir nevtronov za raziskave na področju odpornosti na sevanje, za nevtronsko aktivacijsko analizo ter za izobraževanje in usposabljanje. Za izobraževalne namene ga je največ uporabljal Odsek za reaktorsko fiziko (F8), za usposabljanje Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo (ICJT), za obsevanje vzorcev Odsek za znanosti o okolju (O2) in Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F9), za eksperimente iz reaktorske fizike pa Odsek za reaktorsko fiziko (F8). Zaustavljen reaktor je močan vir sevanja gama, kar je bilo uporabljeno za preizkušanje odpornosti različnih elektorskih komponent in drugih materialov proti sevanju. V OVC so redno izvajali dejavnosti O2, Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS) in Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO) – obdelava in priprava radioaktivnih odpadkov za potrebe skladiščenja.

Raziskave, pri katerih se je uporabljal reaktor, vključujejo:

- reaktorsko fiziko in nevtroniko,
- aktivacijske analize,
- raziskave sevalnih poškodb v polprevodnikih,
- nevtronsko dozimetrijo in spektrometrijo,
- aktivacijo materialov, raziskave jedrskih odpadkov in razgradnjo,
- študije odpornosti proti sevanju,
- obsevanje materialov fuzijskih reaktorjev,
- obsevanje elektronskih komponent,
- obsevanje medicinskih komponent,
- razvoj in preizkušanje novih detektorjev,
- razvoj novih metod za merjenje profilov moči, nevtronskih spektrov itd.,
- verifikacijo in validacijo metod za račun transporta nevtronov, fotonov in elektronov,
- razvoj metod za izobraževanje s področja reaktorske fizike.

V lanskem letu smo začeli z obsevanji silicijevih detektorjev za velike pospeševalnike v okviru projekta EURO-LABS (*EUROpean Laboratories for Accelerator Based Science v okviru programa EU Obzorje – storitve raziskovalne infrastrukture za podporo raziskavam na področju zdravja, pospešitev zelene in digitalne preobrazbe ter napredek pionirskega znanja*). Večinoma smo obsevali vzorčne komponente za CERN (*the European Organization for Nuclear Research in French Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) na skoraj tedenski ravni. Trajanje projekta EURO-LABS je 4 leta; in sicer do avgusta 2026.



Slika 1: Tečaj za študente z Univerze Aix-Marseille, Marseille, Francija, 26. 6. 2023–6. 7. 2023



Slika 2: Tečaj za študente iz King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudova Arabija, 3.–14. 7. 2023



Slika 3: Tečaj za študente iz EERRI (East European Research Reactor Initiative), 16. – 20. 10. 2023



Slika 4: Nove cevi sekundarnega hladilnega kroga

V letu 2023 smo izpeljali večji projekt instalacije nove eksperimentalne naprave v horizontalni kanal št. 1 – Obsevalna naprava z aktivirano vodo – KATANA. Ideja je uporabiti aktivirano demineralizirano vodo kot vir visoko energijskih žarkov gama. Maja smo kanal pregledali in ga grobo očistili. Novembra smo kanal popolnoma očistili in vstavili notranji del zanke za aktivacijo vode. Do konca leta smo na napravi že dobili prve preliminarne rezultate in zatem opravili tudi prve manjše nadgradnje, ki so dodatno izboljšale zmogljivost naprave.

Januarja smo izpeljali tečaj na daljavo za Univerzo iz Aix-Marseille.

Februarja reaktor večino časa ni obratoval zaradi vzdrževalnih del na hladilnem sistemu. Sodelavci podjetja NUMIP so zamenjali cevi sekundarnega hladilnega kroga skupaj z vsemi pripadajočimi ventili in tipali. Odstranili so star toplotni izmenjevalec z novim, ki je ploščatega tipa in zavzema bistveno manj prostora. Marca smo opravili več obsevanj detektorjev v sodelovanju s CEA (*Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*) in Instrumentation Technologies, d. d. Marca smo začeli izvajati tedenske vaje za študente FMF (*Fakulteta za matematiko in fiziko*) Univerze v Ljubljani, ki so se končale maja.

Junija smo ponovno gostili raziskovalce CEA, ki so pri nas testirali kalorimetre. Proti koncu meseca smo organizirali dva tečaja, prvega za CDT – UKRI (*Centres for Doctoral Training*) – UK Research and Innovation – in drugega za Univerzo Aix-Marseille – tokrat v živo in ne na daljavo.

Julija smo prvič gostili študente iz Savdske Arabije – King Fahd University.

Septembra smo že tradicionalno gostili študente iz Švedske – Uppsala University.

Oktobra smo na dvotedenskem tečaju gostili udeležence tečaja EERRI (*East European Research Reactor Initiative*). Zaradi izrednega remonta v Krškem so na reaktorju sodelavci odseka F8 umerjali svojo opremo za zagonske teste.

Vzporedno smo začeli z rednimi tedenskimi vajami za študente FMF. Izobraževanje je potekalo skupaj z udeleženci mednarodnega magistrskega programa v okviru projekta SARENA (*MSc in Safe and Reliable Nuclear Applications*). Vaje so potekale do konca leta.

Novembra smo ponovno gostili raziskovalce CEA, ki so pri nas obsevali pasivne detektorje nevtronov in žarkov gama. Zatem smo začeli s praktičnimi vajami za udeležence tečaja Tehnologije jedrskih elektrarn, ki ga organizira ICJT za bodoče operaterje NEK. Vaje so potekale štirikrat tedensko do konca leta. Organizirali smo še tradicionalno vajo pulziranja reaktorja za italijanske študente z univerze Politecnico di Milano.

Decembra smo poleg vseh vaj gostili še mednarodni tečaj ENEEP (*European Nuclear Experimental Education Platform*), kjer so bili udeleženci mladi na začetku svoje kariere v jedrski stroki iz celotne Evrope.

Na reaktorju je bilo več različnih krajših obiskov; v skupnem številu približno 1950 obiskovalcev: skupine iz osnovnih in srednjih šol ter univerz v Sloveniji in v zamejstvu, udeleženci tečajev, udeleženci Dneva odprtih vrat (okrog 500 obiskovalcev), udeleženci Noči raziskovalcev (približno 250 obiskovalcev), raziskovalci iz tujine ...

MEDNARODNI PROJEKTI

- Obsevanja za podjetje Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
dr. Anže Jazbec
- OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission
dr. Anže Jazbec
- OE - DETMED; Novi koncepti detektorjev za medicinske instrumente
European Commission
dr. Anže Jazbec
- Strokovno izpopolnjevanje IAEA štipendistov g. Diya Mahmoud Ismail Al Kisieh in g. Essa Al Khalaylah (SV-JOR9019-2202817), 04. 09. 2023 - 08. 09. 2023
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Borut Smodiš
- Obsevanja na reaktorju TRIGA
dr. Anže Jazbec
- Obsevanje kapsul FT-TIMS na reaktorju TRIGA za 2020-2023
CEA - Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies
prof. dr. Borut Smodiš
- Prenovljen vrtljak „Lazy Susan“
University of Pavia
prof. dr. Borut Smodiš
- Eksperimentalno testiranje akvizicijskega sistema MONACO na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay
prof. dr. Borut Smodiš
- Testiranje nevtronskih detektorjev SiC na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay
prof. dr. Borut Smodiš
- Razvoj elektronskih sistemov za izven središčno jedrsko instrumentacijo
CEA Saclay
prof. dr. Borut Smodiš

PROJEKTI

- Uporaba objekta vroča celica - OVC
ARAO, Ljubljana
dr. Anže Jazbec

OBISKI

- Loïc Barbot, Gregoire de Izarra, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, in Anže Uršič, Instrumentation Technologies, d. o. o., Solkan, Slovenija, 6.-9. 3. 2023
- Oliver Llido, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 22.-24. 3. 2023
- Philibert Herve, Domergue Christophe, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 5.-9. 6. 2023
- Euan Allatt, Thomas Ashton Key, Harrison Brown, Daniel Cogbill, Jamie Edwards, Martin Gillet, Alfred Hewetson, Siobhan Kingsley, Parth Kulkarni, Jason Lee Yung Sing, Alexandre Lhoest, Alexandre Little, Fernandes Luis, Marat Margulis, Eleni Mowery, Ben Sargeant, Bryan Tan Yi Chuen, Jonathan Tate, William Thomas, William Watson, Ewan Woodbridge, *Experimental Educational Course Experimental reactor and radiation physics*, UK centres for doctoral training (CDTs), Združeno kraljestvo, 19.-23. 6. 2023
- Fezane Ada Angwe, Eric Asra, Yorick Barou, Lisa Box, Michel Carette, Axel Caron, Donatien Djerabe, Romain Guibaud, Alexia Hernandez, Adrien Hodee, Noemie Jouglaud, Miloud Kandoussi, Abdallah Lyoussi, Christelle Reynard Carette, Leopold Thevenot, Adrien Volte, Univerza Aix-Marseille, Marseille, Francija, 26. 6. 2023-6. 7. 2023
- Abdulaziz Alsaleh, Khaled Al-Athel, Yazeed Alsehaibani, Abdulaziz Alyamani, Afaq Shams, Akbar Alnasser, Ali Alkhalefa, Anas Alnewirah, Mogbil Alrushaid, Mohammed Bushafia, Mohanad Alzahrani, Musaad Altanam, Seraj Albahrani, Sufyan Alrubayyi, Turki Hakami, tečaj za King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudova Arabija, 3.-14. 7. 2023
- Dzemil Adrovic, Caleb Barnes, Can Demirci, Sven Ekman, Mika Ekros, Liam Ilklic, Martin Kassir, Isak Lundell, Gustav Robertson, Haydar Said, Karl Skjolderand, Andreas Solders, Jeffrey Tare, Univerza v Uppsali, Uppsala, Švedska, 27.-29. 9. 2023
- Ali Emhemed Khalifa Ahbika, Bilasan Alshomrani, Anselm Niwemuhwezi, Dolphine Queenter Osoro, Mohammadhadi Porhemmat, Josue Shema, Siriporn Teparos, tečaj EERRI (*East European Research Reactor Initiative*), 16.-20. 10. 2023
- Loïc Barbot, Gregoire de Izarra, Mathieu Trocme, Husson Wilfrid, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 13.-17. 11. 2023
- Anna Abramuk, Anna Anchini, Federico Di Croce, Matej Kleštinec, Luis Leitao, Jakub Luley, Juan Antonio Monleon De la Lluvia, Quentin Potiron, Marc Pouradier Duteil, Saverio Quanta, Rafal Stoga, Mika Vaanamen, tečaj ENEEP (European Nuclear Experimental Education Platform), 4.-7. 12. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Anže Jazbec Expert Mission on Establishment of a Periodic Safety Review for IPR-R1 TRIGA Research, Belo Horizonte, Amerika, 31. 7. 2023-4. 8. 2023 (1)
- Anže Jazbec TC Expert Mission on Establishment of a Periodic Safety Review for Jordan Research & Training Reactor (JRTR), Aman, Jordanija, 20. 8. 2023-24. 8. 2023 (1)
- Anže Jazbec, Sebastjan Rupnik, Vladimir Radulović, Borut Smodiš, Luka Snoj, 32th International Conference Nuclear Energy for New Europe, NENE 2023, Portorož, 11.-14. 9. 2023 (1)
- Andraž Verdir Technical Meeting on the Safety of Research Reactors Under Project and Supply Agreements and Review of their Safety Performance Indicators, Dunaj, Avstrija, 16. 10. 2023-20. 10. 2023 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

- prof. dr. Borut Smodiš, znanstveni svetnik - vodja samostojnega centra**

Podoktorski sodelavci

- dr. Anže Jazbec

Tehniški in administrativni sodelavci

- Andrej Gyergyek, univ. dipl. fiz.
- Marko Rosman
- Sebastjan Rupnik, dipl. inž. fiz.
- Nina Udir, univ. dipl. inž. graf. tehnol.
- Andraž Verdir, dipl. inž. el.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- ADDSEN, s. r. o., Malacky, Slovaška
- Agencija za radioaktivne odpadke - ARAO, Ljubljana
- CERN, the European Organization for Nuclear Research, Ženeva, Švica
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, St Paul lez Durance Cedex, Francija
- DITO, d. o. o., Gorica pri Slivnici
- EHAG, Gradec, Avstrija
- ETH Zürich, Švica
- European Atomic Energy Community (Euratom), Bruselj, Belgija
- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Fission Energy, Bruselj, Belgija
- INETEC, Lučko, Hrvaška
- Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg, Francija
- Instrumentation Technologies, d. d.
- International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
- ITER Organization, Saint Paul Lez Durance, Francija
- Joint Research Centre (JRC) / Institute for reference materials and measurements (IRMM), Geel, Belgija
- Laboratoire de Physique de Clermont-Ferrand, Aubiere, Francija
- Lancaster University, Lancaster, Združeno kraljestvo
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Milano Bicocca, Milano, Italija
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Perugia, Perugia, Italija
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Torino, Torino, Italija
- Michigan State University, Dept. of Physics and Astronomy, East Lansing, ZDA
- Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana
- Mk team elektro-strojni inženiring, d. o. o., Raka, Raka
- Nanocut, d. o. o.
- National Nuclear Research Centre, Baku, Azerbajdžan
- Nuklearna elektrarna Krško, Krško

27. Precision Acoustics Ltd, Dorchester, Združeno kraljestvo
28. Rolls Royce Civil Nuclear SAS, Meylan, Francija
29. Rosatom Central Europe s.r.o., Budimpešta, Madžarska
30. Thermocoax SAS, Flers Cedex Francija
31. TWI Ltd, Cambridge, Združeno kraljestvo
32. University of Liverpool, Liverpool, Združeno kraljestvo
33. University of Oxford, Združeno kraljestvo
34. University of Pavia
35. Univerza Aix-Marseille, Faculty of Sciences, Marseille, Francija
36. Univerza Clermont Auvergne, Laboratoire de Physique de Clermont, Clermont-Ferrand, Francija
37. Univerza v Hamburgu, Institute of Experimental Physics, Hamburg, Nemčija
38. Univerza v Lancashireu, Združeno kraljestvo
39. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
40. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana
41. Univerza v Milanu (Politecnico di Milano), Milano, Italija
42. Univerza v Uppsali, Uppsala, Švedska
43. Univerza v Zürichu, Physik-Institut, Zürich, Švica

CENTER ZA MREŽNO INFRASTRUKTURO

CMI

Center za mrežno infrastrukturo (CMI) upravlja računalniško omrežje in osrednje računalniško-komunikacijske storitve na Institutu "Jožef Stefan", skrbi za razvoj in vzdrževanje računalniške, komunikacijske, podatkovne in kibernetsko-varnostne infrastrukture odsekov, centrov in služb Instituta "Jožef Stefan" ter sodeluje v nacionalnih in mednarodnih kolaboracijah na področju omrežij, mrežnih storitev, superračunalništva ter IKT infrastrukture za znanost.

Vzdrževanje in razvoj računalniškega omrežja, storitev in naprav je osnovna dejavnost centra in zagotavlja temelje informacijsko-komunikacijske infrastrukture IJS. Center deluje v širšem nacionalnem in internacionalnem prostoru: skrbimo za vključenost v lokalno in svetovno komunikacijsko omrežje, za vzdrževanje računalniško-informacijske raziskovalne infrastrukture ter za podporo raziskovalnemu delu na IJS z razvojem in vzdrževanjem ustreznih informacijsko-komunikacijskih in računalniških storitev, tehnologij in infrastrukture. To zagotavljamo z delom na štirih osnovnih področjih: omrežju, omrežni varnosti, omrežnih storitvah in mrežnem superračunalništvu. Delo poteka v sklopu rednega dela, infrastrukturnega programa IJS (centra CMI in CPIR, Center za podporo intenzivnemu računanju) ter vrste nacionalnih in internacionalnih projektov.



Vodja:
dr. Jan Jona Javoršek

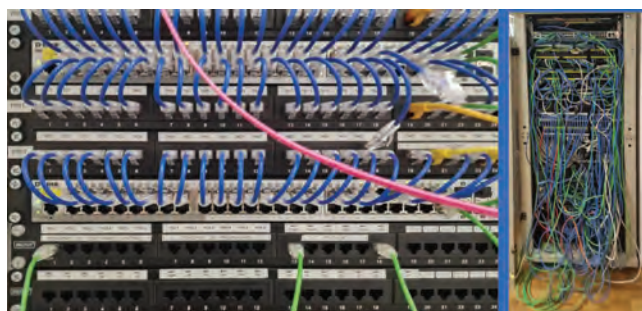
Omrežje

CMI z razvojem in vzdrževanjem omrežja IJS omogoča izvajanje osnovnih dejavnosti in posameznih projektov ter delovanja vse druge IKT-infrastrukture. To področje zajema razvoj fizične omrežne hrbtenice IJS, odsečnih omrežij, brezžičnega omrežja ter vrste namenskih omrežij za storitve, projekte in dejavnosti, kot so namenske povezave do tujih centrov, varne povezave do Rektorskega centra Podgorica ter povezave v namenska širokopasovna znanstvena omrežja v omrežju ARNES in GÉANT.

Fizično omrežje: V letu 2023 smo nadaljevali s širjenjem fizične zmogljivosti omrežja ter posodabljanjem in nadgrajevanjem aktivne opreme, brezžičnih postaj ter ključnih aktivnih komponent (usmerjevalnikov hrbteničnega omrežja). Izvedli smo postopno obnovo vozlišč po institutu zaradi sprememb ob selitvi dela uprave, spremembe namembnosti mnogih prostorov in dotrajanosti opreme. Najpomembnejši posegi so bili celovita obnova mrežnih vozlišč v pritličju objekta A, v prostorih odseka za fiziko trdne snovi v kleti objekta A in v prvem nadstropju objekta C. Nadomestili smo nekdanje vozlišče administrativnih služb v stavbi C z novim, manjšim, kar omogoča primernejšo izrabo prostora ob spremembi namembnosti etaže v raziskovalno dejavnost. V stavbi J smo vzpostavili nov prostor za administrativno informatiko ter prenovili mrežno opremo v pritličju in 2. nadstropju objekta C, prenovljenem delu delavnic, prostorih tehničnih servisov, novih prostorih garaže IJS, prenovljenih prostorih menze na Jadranski, prenovili vozlišče Centra za trde prevleke v Domžalah ter dopolnili omrežje v prostorih na Tržaški 134. Pri tem smo reorganizirali odsečna omrežja in uvedli uporabo lokalnih naslovov IPv4 ter avtomatizacijo nastavitve za delovne postaje in interne naprave. Opravili smo analizo in izdelali načrt prenove omrežja Rektorskega centra Podgorica ter uvedbo dodatnih varnostnih ukrepov.

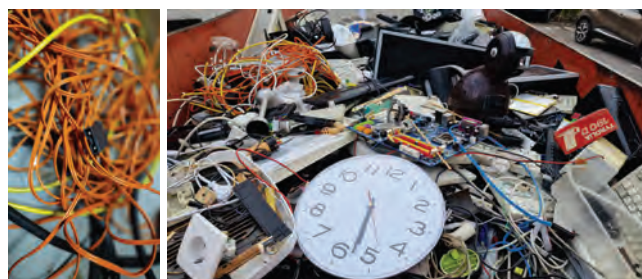
Nadaljevali smo z uvajanjem navideznih omrežij za lokacijsko razpršene odseke, gručice, virtualne strežnike ter sisteme za oddaljen dostop za različne oblike vzdrževanja in souporabe virov.

Zagotavljali smo podporo za širokopasovne povezave v mednarodnih kolaboracijah, kot so iniciative EuroHPC, EOSC, WLCG (Worldwide Large Hadron Collider Computing Grid) in Belle2, ter podporo za uporabnike EGI in PRACE prek omrežij GÉANT ter v okviru uporabe namenskih znanstvenih

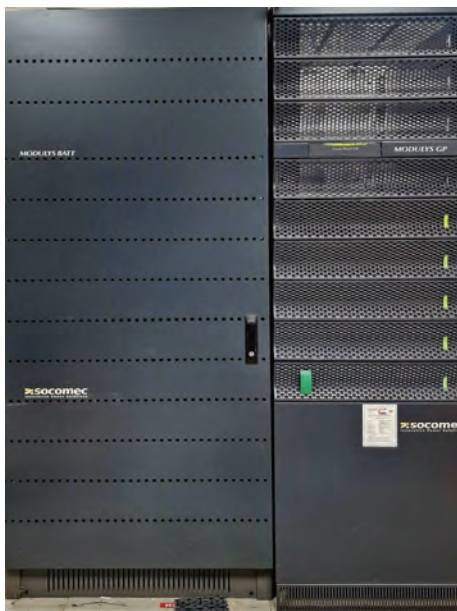


Slika 1: Mrežne omare smo začeli sistematično prenavljati in preurejati, klobčice starih kablov so zamenjali urejeni, po meri izbrani kabli.

Hrbtenično omrežje z več 10-gigabitnimi povezavami, sodobnimi protokoli in fleksibilno IKT infrastrukturo z naprednimi storitvami, številnimi fiksnimi in brezžičnimi odjemalci ter hitro zunanjo povezavo s kapaciteto 100 Gbit/s je dobilo prve namenske optične povezave za kvantno komunikacijo.



Slika 2: Ob prenovi napeljav pod dvignjenim podom je potekel čas enemu od najstarejših mrežnih kablov v računalniškem centru v južnem prizidku.



Slika 3: Sistem za neprekinjeno napajanje Socomec 1X200KVA zagotavlja varno delovanje v računalniškem centru.

zasebnih omrežij LHCONe in PRACE, prav tako pa tudi dostop do nacionalne hrbenične povezave med superračunalniškimi in podatkovnimi centri. Za potrebe projekta na področju kvantnih komunikacij smo vzpostavili več namenskih večparičnih optičnih povezav med laboratoriji v stavbi C in laboratorijem za kvantno optiko v prostorih Fakultete za matematiko in fiziko, načrtujemo podobno povezavo do laboratorija za hladne atome na Rektorskem centru Podgorica. Povezave so namenjene uporabi za povezovanje virov prepletenih fotonov in so gradnik kvantnih omrežij ter demonstratorji za tehnologije, ki temeljijo na kvantnih načelih (kvantna izmenjava ključev, kvantne komunikacije idr.).

Nadzorni sistemi: Z razvojem omrežja smo posodobili in razvili mehanizme za spremljanje in nadzor omrežja, odzive na omrežne dogodke, spremljanje prometa in storitev ter senzorjev za nadzor nad fizičnimi pogoji v prostorih, kjer so nameščeni posamezni sistemi in naprave. Nadzorni sistemi omogočajo spremljanje in analizo uporabe kapacitet, posameznih dogodkov na različnih področjih, npr. spletnih storitev, varnostnih politik, požarnega zidu, sistema za overjanje in avtorizacijo, sistema za točen čas, sistemov za dostavo, analizo in obdelavo e-poštnega prometa, fizičnega stanja naprav, strojne opreme, temperature in drugih pogojev v prostoru ter obremenitve električnih vodov. Zaradi novih varnostnih standardov in prihajajoče zakonodaje smo vpeljali dodaten nadzor in nove varnostne mehanizme, in sicer najprej za omrežje rektorskega centra, ter vzpostavili sistem za evidentiranje sredstev in varnostnih nastavitvev. Prenovili smo sistem Icing za nadzor nad storitvami.

Brezžično omrežje: Izvedli smo prvo fazo prenove brezžičnega omrežja na Jamovi in Teslovi z izvedbo meritev pokritosti, povečanjem gostote baznih postaj ter nadomestitvijo starejših postaj z novejšimi, ki zagotavljajo nove standarde in večji nadzor. Prenovljeni prostori vključujejo več kot polovico stavb na Jamovi in 4. nadstropje Teslove, delno pa smo povečali tudi gostoto postaj na področju Rektorskega centra.

Omrežna varnost

CMI skrbi za varnost na zunanjem robu omrežja, varnost notranjega omrežja ter varnost skupne programske opreme in osrednjih storitev. Za varnost na zunanjem robu omrežja skrbimo z aktivnimi napravami, kot so požarne pregrade in privzete varnostne nastavitve, ter pasivnimi sredstvi (nastavitve, omejitve in nadzor). V letu 2023 smo zamenjali glavno požarno pregrado, ki zdaj teče na novejši strojni in programski opremi. Dinamični nadzor, spremljanje prometa ter delovanja in upravljanje z nadzornimi mehanizmi so nujni za zagotavljanje ustrezne stopnje varnosti tudi v notranjem omrežju. Ker si omrežje IJS delijo raziskovalni odseki, ki potrebujejo relativno odprtost akademskega okolja, s poslovnimi sistemi ter centri in laboratoriji, ki zahtevajo višjo stopnjo varnosti in izolacije, kot so rektorski center in vroča celica, pospeševalnik, omrežja laboratorijev in zahtevnejših instrumentov, ter omrežja s specifičnimi zahtevami po fleksibilnosti (npr. v robotiki), smo v letu 2023 izboljšali segmentacijo omrežja in notranje filtriranje prometa, poleg tega smo mnoge naprave sistematično prestavili v lokalna omrežja z lokalnimi naslovi. Na podlagi pravilnika o kibernetski varnosti za rektorski kampus smo izvedli prve korake prenove varnostnih mehanizmov omrežja, vzpostavili smo sistem za evidentiranje sredstev, izvedli popis opreme in vključili osebe v program varnostnih izobraževanj.

Kot služba, ki skrbi za varnost IKT-omrežja instituta, smo vzpostavili skupino za odziv na varnostne dogodke na IJS, dejavno sodelujemo z nacionalnim odzivnim centrom SI-CERT, spremljamo FIRST (Forum of Incident Response and Security Teams), vključeni smo v EGI CSIRT (odzivni center za varnost v evropskih infrastrukturah za mrežno računalništvo) in smo del odzivnega centra slovenskega nacionalnega konzorcija za superračunalniško omrežje SLING, kjer sodelujemo tudi v varnostni skupini superračunalnika EuroHPC Vega. Kot izdajatelj certifikatov SIGNET CA pa smo vključeni v EU Grid PMA (forum za oblikovanje varnostnih pravilnikov za mrežno računalništvo v Evropi) in IGTF (Interoperable Global Trust Federation). Smo ustanovitveni člani slovenske skupine mrežnih operaterjev SINOG. Sodelujemo v EEN CSIRT (odzivni center vozlišča EOSC EU), pri organizaciji različnih izobraževanj na področju kibernetske varnosti (npr. Cernova poletna šola), izobraževanjih Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA), pri dejavnostih Skupine za jedrsko varnost reaktorja SKVR in izobraževanjih, ki jih organizira Uprava za jedrsko varnost RS.

Elektronska pošta: Na področju zaščite elektronske pošte pred neželenimi sporočili smo nadaljevali z razvojem rešitev za zaščito poštnih komunikacij ter izboljševanjem podpore za napredne formate in protokole ter sistem prenesli na novo fizično infrastrukturo.



Slika 4: V računalniškem centru v južnem prizidku so nameščeni številni strežniki odsekov, osrednje storitve in diskovje podatkovnega sistema CEPH.

Kriptografija in certifikati: Podpiramo uporabo DNSSEC in postopke za avtomatsko preverjanje pravilnosti zapisov DNS, sistem DANE (povezava elektronskih pošt) TLS s sistemom DNS) pri prenosu elektronske pošte ter objavo zapisov SSHFP prek domenskih strežnikov. Omogočamo in spodbujamo uporabo elektronskih pošt za strežnike v institutskem omrežju v skoraj popolnem prehodu na TLS z javno podprtimi potrdili na večini strežnikov, zato tudi na požarnem zidu dajemo prednost dostopu prek protokola HTTPS. Omogočamo izdajo certifikatov preko pogodbe Arnes/GÉANT. Sistemi za varno oddaljeno povezavo (VPN) omogočajo varen šifriran oddaljen dostop do omrežja IJS in so v široki uporabi. Poleg tega podpiramo interno storitev oddaljenega upravljanja namizja za tehnično podporo (prek storitve ISL Online) ter skrbimo za izdajo osebnih digitalnih pošt za zaposlene prek nacionalnega izdajatelja SIGEN CA.

Osrednje storitve

CMI vzpostavlja, razvija in vzdržuje vrsto osrednjih informacijsko-komunikacijskih storitev. Najpomembnejše so storitve elektronske pošte (upravljanje usmerjanja pošte, poštne nabiralnike, poštne imenike), storitve spletne podpore (osrednji strežnik <http://www.ijs.si/>, spletno gostovanje za posameznike, odseke, službe in projekte) in spletne storitve (sistemi za urejanje vsebine, domače strani, spletni imenik). Ob njih CMI izvaja še vrsto informacijskih storitev za podporo osnovnih storitev ali za posamezne dejavnosti, kakršne so spletne predstavitve, spletni sistemi za organizacijo konferenc, nadzor omrežja ipd. Na nekaterih področjih CMI sodeluje pri razvoju tehnologije in infrastrukture, npr. na področjih zagotavljanja točnega časa in zaščite pred neželeno in nevarno pošto.

Tretja kategorija so storitve za informacijsko podporo delavcem, kjer sta najbolj uporabljani storitvi NextCloud (koledarji, rokovniki, imeniki, izmenjava datotek, kolaborativno urejanje) in GitLab (razvoj izvorne kode, sistemi za preverjanje, integracijo in prevajanje programske opreme), za spletne vprašalnike in podporo za glasovanje, skrbimo pa tudi za podporo pri razvoju mobilnih aplikacij za Apple Appstore in Google Play.

Med osrednje storitve spadata tudi gostovanje in upravljanje strežnikov v računalniškem centru CMI (ki je namenjeno zlasti večjim sistemom in projektom), upravljanje informacijskih sistemov za podporo osebnega računalništva (podpora in upravljanje odsečnih sistemov enotne prijave) ter upravljanje s kritičnimi osebnimi računalniki in komponentami. Razširili smo kapacitete diskovnih polj v podatkovnem sistemu CEPH ter sisteme za gostovanje virtualiziranih strežnikov in vsebnikov za podporo raziskovalnim projektom. V računalniškem centru CMI na Jamovi, kjer omogočamo gostovanje v urejenem okolju z ustreznim hlajenjem, sodobnim omrežjem in brezprekinitvenim napajanjem za računsko manj intenzivno strojno opremo in storitve, smo sprejeli še dodatne sisteme odsekov. V storitvi spletnega gostovanja je zdaj več kot 140 virtualnih spletnih strežnikov, ki tečejo na sodobni strojni opremi in v varovalnem omrežnem okolju.

Posodobili smo sistem enotne prijave za spletne storitve, vključen v nacionalno federacijo Arnes AAI ter evropsko federacijo eduGAIN, ki omogoča dostop do številnih storitev v Sloveniji in v tujini ter podpira preprostejše upravljanje z uporabniki, razvijalcem in vzdrževalcem storitev pa olajšuje upravljanje s podatki o uporabnikih.

Mrežno superračunalništvo

Center vse od svojega nastanka kot Nacionalni superračunalniški center deluje na področju superračunalniških tehnologij. Delo smo organizirali v okviru Računskega centra IJS na Teslovi in Centra za podporo intenzivnemu računalništvu, ki je del infrastrukturne skupine IJS. Od aprila leta 2021, ko je Slovenija z vzpostavitev superračunalnika Vega (prvega sistema v evropski iniciativi EuroHPC) stopila v ospredje evropskega razvoja na tem področju, je center v sodelovanju z Odsekom za eksperimentalno fiziko delcev F9 in podporo več drugih odsekov vključen v upravljanje in podporo sistema Vega (ki deluje na IZUM v Mariboru). V okviru sodelovanja v konzorciju SLING ter v okviru projekta Nacionalnega kompetenčnega centra EuroHPC smo tudi v letu 2023 podpirali delovanje sistema, ki je še vedno med najbolj zasedenimi in uporabljanimi sistemi iniciative EuroHPC. Nekatere inovacije, npr. mrežna povezljivost in veliko podatkovno polje, so se izkazale kot izredno koristne. Hkrati smo v okviru projekta EuroCC

Samodejni odzivni sistemi, segmentacija omrežja, mednarodno sodelovanje ter odzivne skupine so del nenehne pripravljenosti, s katero zagotavljamo varnost v obdobju vse bolj neprijaznega interneta.

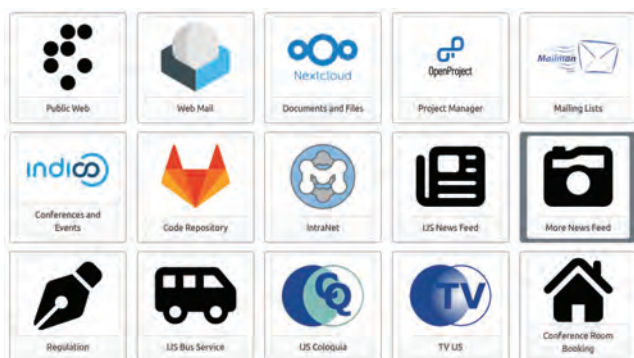


Slika 5: Sistem Proxmox s hitrimi diski v podatkovnem sistemu CEPH zagotavlja varno delovanje virtualnih strojev in vsebnikov.



Slika 6: Novi požarni zid instituta ter aktivne naprave za varne omrežne povezave (VPN) nam zagotavljajo hitro in varno povezavo v svet.

Dostop do velikih podatkovnih shramb in najsodobnejših superračunalnikov, kakršni so slovenski HPC Vega in drugi novi evropski sistemi, spada med nepogrešljiva orodja mnogih raziskovalcev, zaradi vse večje količine podatkov pa gradimo tudi diskovna polja in hitra omrežja.



Slika 7: CMI zagotavlja številne storitve, med drugim gostovanje spletnih strani, spletno pošto, NextCloud (koledarji, rokovniki, imeniki, izmenjava datotek, kolaborativno urejanje), OpenProject za projektno vodenje, pošne sezname, sistem za organizacijo konferenc in rezervacijo dvoran, GitLab (razvoj izvirne kode, sistemi za preverjanje, integracijo in prevajanje programske opreme) ter naročanje na prevoze med lokacijami IJS.

podpirali program izobraževanja in podpore na visoki ravni, ki je izredno povečal uporabo in izkoristek sistemov v Sloveniji. Sodelovali pa smo tudi pri organizaciji dogodkov, kot so Dnevi SLING (v organizaciji Arnesove mreže znanja), Nacionalni dnevi odprtih vrat superračunalniških centrov ter avstrijsko-slovenska superračunalniška konferenca ASHPC. CMI skrbi tudi za službo za izdajanje elektronskih potrdil za znanost za Slovenijo SIGNET CA, sodeluje pri razvoju osrednjih storitev slovenskega omrežja SLING ter koordinira delo v mednarodnih infrastrukturnih projektih in kolaboracijah.

V letu 2023 smo tako ponovno opazili povečanje števila uporabnikov in številne mednarodne uporabnike. Infrastruktura za intenzivno računanje, ki jo vzpostavljamo v računalniškem centru Teslova od leta 2015, je zasedena do kapacitete trenutne električne infrastrukture, uporabniki pa ves čas menjujejo starejšo opremo za novejšo. Superračunalnik Arnes, ki deluje v centru od leta 2020, skupaj s sistemi IJS zagotavlja izvrstne možnosti za intenzivne računske obdelave. V okviru dela centra in gruče smo podpirali uporabnike in delovanje institutskih gruč v okviru omrežja SLING z vmesno programsko opremo ARC ter vsebniki za uporabo

prednameščene programske opreme, razširili pa smo podporo za interaktivno uporabo – sistem SLURM.

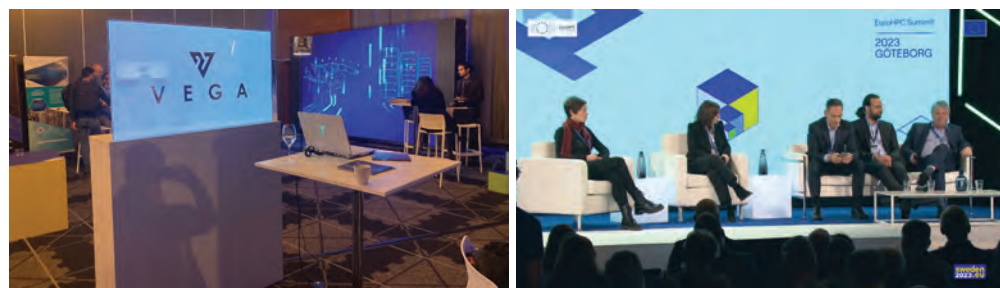
Na področju podpore mrežnega superračunalništva smo intenzivno sodelovali pri Slovenski iniciativi za nacionalni grid (SLING) ter EuroHPC, Evropski iniciativi za grid (EGI), Partnerstvu za napredno računalništvo v Evropi PRACE, v okviru projektov EuroHPC Leonardo (zagon sistema konec leta 2022) ter v konzorciju NorduGrid za razvoj vmesne programske opreme ARC. Sodelovali smo tudi z vrsto mednarodnih projektov in omrežij (ATLAS – upravljanje namenske povezave, Belle2 – upravljanje z računskimi kapacitetami, CLARIN – podpora pri vzpostavitvi različnih storitev slovenskega vozlišča, ELIXIR – sodelovanje pri vzpostavljanju slovenskega vozlišča in oblikovanju evropskega omrežja). Na infrastrukturi SLING so v tem času potekali številni raziskovalni projekti in naloge s področij fizike osnovnih delcev, medicinske senzorike ter obdelave slik, teoretske fizike, astrofizike, biokemije, simulacije proteinov, analiz kristalov, tehnologije znanja, statističnih analiz, umetne inteligence, fluidne dinamike, računalniškega jezikoslovja itd. Pri številnih projektih je bila podpora skupina SLING, katere člani smo administratorji CMI, vključena v paralelizacijo programske opreme, pripravo nalog in vzpostavljanje delovnega okolja za naloge.

Člani CMI smo kot strokovni svetovalci sodelovali tudi pri mednarodnih aktivnostih, npr. v okviru EuroHPC in Evropskega oblaka za odprto znanost EOSC, pri podpori nacionalnega superračunalnika HPC RIVR Trdina na Fakulteti

za informacijske študije ter pri delovanju EuroHPC Vega kot slovenskega superračunalnika v sistemu EuroHPC. Poleg tega smo delovali v okviru zagona projekta MaX, centra odličnosti na področju programske opreme za modeliranje materialov, kjer smo zadolženi za zagotavljanje dostopa, testiranja in nameščanja programskih paketov na superračunalnike EuroHPC. Vključili smo se v projekt EPICURE, ki zagotavlja zahtevnejšo podporo uporabnikov na superračunalniških sistemih EuroHPC, sodelavci CMI pa so sodelovali z EuroHPC v okviru svetovanja v upravnem odboru ter ekspertnega sodelovanja v svetovalni skupini EuroHPC za razvoj in inovacije. Delovali smo tudi na Forumu za vsebnike EuroHPC (EuroHPC Container Forum) ter na svetovalnem svetu za vsebine v superračunalništvu (HPC Container Advisory Council).



Slika 8: Kot člani SLING sodelujemo pri organizaciji konference Avstrijsko-slovensko superračunalniško srečanje (Austria-Slovenia HPC, ASHPV)



Slika 9: Na okrogli mizi na konferenci EuroHPC Summit in na demonstraciji slovenskega sistema EuroHPC Vega.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EACEA: B-AIR; Zvočna umetnost za dojenčke, malčke in ranljive skupine na umetniškem spletnem radijskem kanalu, podprtem z inovativno tehnologijo
EACEA - European Education and Culture Executive Agency
dr. Jan Jona Javoršek
2. H2020 - EGI-ACE; Napredno računalništvo za Evropski odprti oblak EOSC
European Commission
dr. Jan Jona Javoršek
3. EGI fundacija; Varnostna koordinacija in varnostna orodja
EGI Foundation
dr. Jan Jona Javoršek
4. OE - MaX; Modeliranje in simulacije materialov na eksa skali
European Commission
dr. Jan Jona Javoršek

5. DIGITALNA EU; SiQUID - Slovenian Quantum Communication Infrastructure Demonstration
European Commission
dr. Jan Jona Javoršek

PROJEKTA

1. Sofinanciranje projekta B-AIR v letu 2023; Zvočna umetnost za dojenčke, malčke in ranljive skupine na umetniškem spletnem radijskem kanalu, podprtem z inovativno tehnologijo
Ministrstvo za kulturo
dr. Jan Jona Javoršek
2. XRootD and FTS23: Mednarodna delavnica XRootD in FTS, Ljubljana, Slovenija, od 27. 3. 2023 do 31. 3. 2023
dr. Jan Jona Javoršek

SODELAVCI

Podoktorski sodelavci

1. dr. Alja Prah

Strokovni sodelavci

2. Jan Ivanjko, dipl. posl. inf. (VS)
3. **dr. Jan Jona Javoršek, vodja centra**
4. dr. Florian Klauser
5. mag. Barbara Krašovec
6. Mark Martinec, univ. dipl. inž. rač. in inf.
7. Sebastien Strban, dipl. inž. rač. in inf.

Tehniški in administrativni sodelavci

8. Andraž Filipčič
9. Ivan Ivanjko
10. Janez Jezeršek
11. *Matjaž Levstek, upokojitev 1. 4. 2023*
12. Janez Srakar
13. Matej Wedam

Znanstvenoinformacijski center IJS je ena največjih specialnih knjižnic v Sloveniji. Sodelavcem omogoča dostop do literature, ureja njihove bibliografije v sistemu SICRIS in jim ponuja podporo pri izpolnjevanju zahtev odprtega dostopa.

Znanstveno komuniciranje temelji na izmenjavi spoznanj prek recenziranih objav v znanstveni periodiki. Redno spremljanje teh objav je nujno potrebno za zagotovitev konkurenčnosti in relevantnosti raziskovalnega dela. Informacijska doba je korenito spremenila načine dostopa do informacij, a večina člankov je še vedno dostopna le naročnikom. Povečano število objav in revij v zadnjih letih nas usmerja k paketnemu naročanju revij velikih založb. Znanstvenoinformacijski center sodeluje pri konzorcijalni nabavi paketov revij založb Elsevier, Springer, Wiley, IEEE, RSC in ACS, ki so temeljnega pomena za uspešnost raziskovalnega dela v Sloveniji. S tem zmanjšujemo stroške in slovenskim raziskovalcem omogočamo branje več kot 4.000 znanstvenih revij. Spletne izdaje dopolnjuje naša knjižnična zbirka, ki obsega približno 100.000 publikacij s področja fizike, kemije, biokemije, elektronike, informatike, umetne inteligence, jedrske tehnologije, energetike in znanosti o okolju. Uporabnikom omogočamo dostop do baze podatkov Reaxys in do evalvacijskega orodja SciVal.

Informacijski sistem o raziskovalni dejavnosti v Sloveniji SICRIS je osnova za vse razpise in izvolitvene postopke ARRS. Podatke sistema hrani bibliografska baza COBISS, ki med drugim beleži tudi ustvarjalno delo IJS od njegove ustanovitve leta 1949. Naši katalogizatorji redno dopolnjujejo in urejajo podatke o objavah približno 700 raziskovalcev; leta 2023 smo dodali več kot 4700 zapisov. Ti podatki se uporabljajo pri evalvacijskih procesih ARRS in pri izvolitvah sodelavcev IJS v raziskovalne in strokovne nazive; ena od naših nalog je tudi priprava ocen objav sodelavcev, ki se uporabljajo pri izvolitvenih postopkih.

Vse več financerjev v svoje pogodbe vključuje tudi zahteve po odprtem dostopu do objav. Slovenija je sprejela strategijo odprtega dostopa in tudi ARRS, kot podpisnik Plana S, v svojih razpisih že vključuje zahteve po objavah v skladu s to strategijo. Ena od zahtev strategije je objava zadnje avtorjeve različice članka v mednarodno povezljivem repozitoriju. Znanstvenoinformacijski center v ta namen na željo avtorjev vnaša članke v repozitorij DIRROS, ki ustreza vsem zahtevam Evropske komisije in ARRS.

Pomemben del našega dela pa so tudi zbiranje, preverjanje in urejanje podatkov, ki so del tega poročila, oblikovanje prispevkov, ki predstavljajo delo IJS v preteklem letu, in priprava poročila za tisk. Elektronski arhiv letnih poročil je dostopen na spletnem naslovu <https://www.ijs.si/ijsw/Informacije%20javnega%20zn%C4%8Daja>.



Vodja:

dr. Luka Šušteršič

PROJEKT

1. NOO - SPOZNAJ; Podpora pri uvajanju načel odprte znanosti v Sloveniji
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
Helena Klančnik, mag. bibl., inf. in zal. štud.

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. **dr. Luka Šušteršič**
2. mag. Marjan Verč

Tehniški in administrativni sodelavci

3. Anja Blažun, univ. dipl. prev.
4. Helena Klančnik, mag. bibl., inf. in zal. štud.
5. Suzi Korošec, inž. rač.
6. Jasna Malalan
7. Irena Rebov, mag. zal. štud.
8. Jože Škulj
9. Branka Strancar
10. Saša Žnidar, prof. angl. in univ. dipl. bibl., odšla 1. 2. 2023

CENTER ZA ENERGETSKO UČINKOVITOST

CEU

Osnovna usmerjenost delovanja Centra za energetske učinkovitost je področje učinkovite rabe energije, dolgoročnega načrtovanja v energetiki ter dejavnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (TGP) in drugih onesnaževal zraka. Center danes predstavlja mesto zbiranja in prenosa znanj za učinkovito rabo energije na stičišču porabnikov energije, države, ponudnikov energije, opreme in storitev ter drugih zainteresiranih javnosti, hkrati pa zajema okoljske vplive rabe in pretvorbe energije. Najpomembnejši del delovanja Centra za energetske učinkovitost v zadnjem obdobju je tako sodelovanje z državnimi institucijami pri pripravi strateških dokumentov in zakonodaje na področju učinkovite rabe energije, načrtovanja v energetiki, razpršene proizvodnje električne energije, emisij toplogrednih plinov ter drugih onesnaževal zraka, pri čemer pa s svetovalno in izobraževalno vlogo na področju energetike še vedno ostaja trdno povezan z industrijskimi podjetji in drugimi ustanovami ter zelo vpet tudi v evropske raziskovalne projekte.



Vodja:
mag. Stane Merše

Energetika in okolje

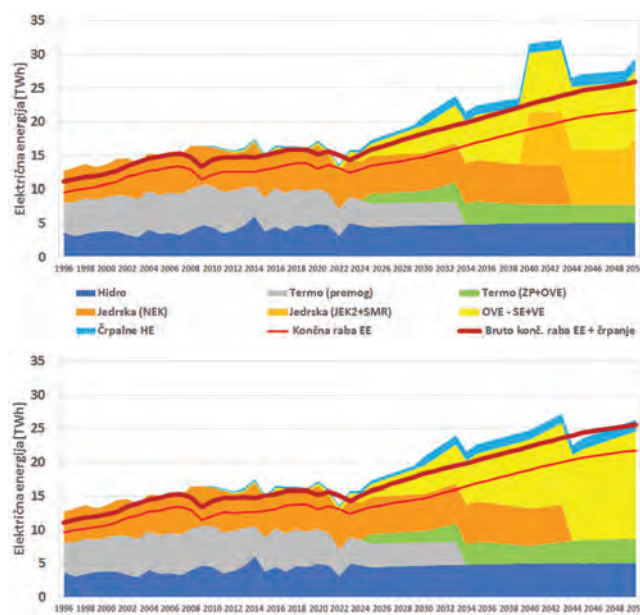
Tudi v letu 2023 je Center s svojim strokovnim delom zagotavljal kakovostno podporo ministrstvu pri pripravi razvojnih strateških dokumentov in prenosu EU zakonodaje. Učinkovita raba energije je za doseganje podnebno energetskih ciljev prednostno področje. Skladno s prenovljeno Direktivo o energetske učinkovitosti (2023/1791), Direktivo o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (2023/2413) ter Uredbo o upravljanju energetske unije (2018/1999) sta bila izdelana prvo poročanje o izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega podnebnega načrta (NEPN) ter poročilo o doseganju ciljev in izvajanju ukrepov v letu 2020. Center je sodeloval pri pripravi Akcijskega načrta za zmanjševanje energetske revščine, ki ga je v juliju sprejela vlada, ter nadaljeval proces posodobitev NEPN, Dolgoročne strategije prenove stavb in priprave strokovnih podlag za novo podporno shemo za proizvodnjo električne energije in toplote iz obnovljivih virov energije (OVE).

Preostala strokovna podpora Ministrstvu za okolje, podnebje in energijo je bila usmerjena v razvoj sistema upravljanja energije v javnem sektorju, osvežitev ter nadgradnjo kazalcev Podnebnega ogledala in kazalcev okolje-energija. Nadaljevalo se je izvajanje Celostnega integralnega projekta LIFE IP CARE4CLIMATE s ciljem učinkovitejšega doseganja ciljev Slovenije pri zmanjševanju emisij TGP do leta 2030 in hitrejšega prehoda v podnebno nevtrarno družbo, kjer CEU vodi več pomembnih aktivnosti na področju usposabljanja, lokalnega načrtovanja in razvoja naprednih instrumentov za trajnostno prenovo stavb. V okviru projekta je bil vzpostavljen tudi novi laboratorij za energetske učinkovitost in OVE, ki je za podjetje IKEA začel z evalvacijo učinkovitosti nekaj ključnih gospodinskih aparatov iz njihovega prodajnega programa.

CEU sodeluje s Statističnim uradom Republike Slovenije, kjer za potrebe nacionalne energetske statistike razvija in upravlja modelski izračun rabe goriv in energije v gospodinjstvih. Tudi v letu 2023 je CEU nadaljeval z aktivnostmi državnega referenčnega središča za energijo s pripravo razširjenega nabora kazalcev za področje energije in okolja.

Spodbujanje učinkovite rabe energije in energetske svetovanje

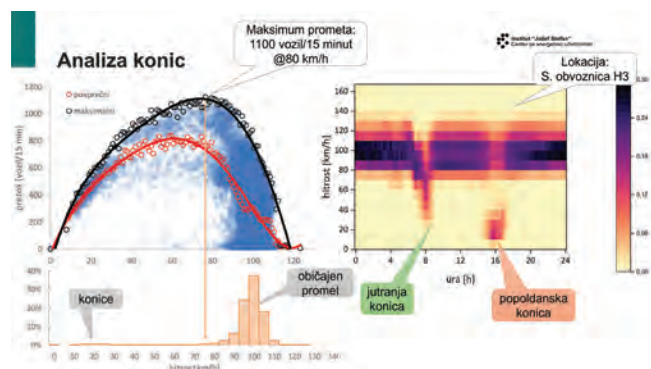
CEU je v letu 2023 nadaljeval s svojimi izobraževalnimi aktivnostmi, kjer se je v okviru projekta LIFE IP CARE4CLIMATE nadaljeval širok program usposabljanja na področju upravljanja z energijo v industriji in javnem sektorju ter energetskega pogodbeništva. Začel se je že petnajsti cikel izobraževanja energetskih managerjev v okviru evropskega programa EUREM. Glede na zelo pozitiven odziv slušateljev in izkazan interes (v Sloveniji je že več kot 290 energetskih managerjev z licenco EUREM) se kaže velika potreba po tovrstnem izobraževanju, saj je kakovostno znanje na tem področju ključno za izvedbo učinkovitih rešitev v praksi.



Slika 1: Scenariji oskrbe električne energije NEPN: jedrski + OVE (zgoraj) in OVE (spodaj)



Slika 2: Delavnica priprave Akcijskega načrta za zmanjševanje energetske revščine



Slika 4: Analiza konic in hitrosti vozil na avtocestah za pripravo metodologije izračuna emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka za podjetje DARS, d. d.



Slika 3: Kodeks ravnanja za oceno trajnosti in pripravljenosti na pametne sisteme v stavbah, izdelan v okviru projekta Creators.

V letu 2023 je CEU nadaljeval intenzivno razvojno delo na področju lokalnega energetskega načrtovanja z razvojem GIS-orodja za prostorsko analizo rabe toplote v stavbah (heat map) – toplotne karte Slovenije, ki je bila uporabljena za pripravo Strategije ogrevanja in hlajenja ter nadgradnjo metodologije za pripravo lokalnih energetskih konceptov.

CEU je nadaljeval z izdelavo izračuna ogljičnega odtisa za NLB skupino v državah JV Evrope in portfelja SDH, izdelal strategijo razogljčenja operativnega poslovanja NLB ter zaključil pripravo okoljske študije in energetske podnebne načrta podjetja Luka Koper, d. d., do leta 2030 s pogledom do leta 2050 ter izvedbo energetskih pregledov v podjetjih Koto, d. o. o., in Ljubljanske mlekarne, d. o. o. Za podjetje DARS, d. d., je začel pripravljati metodologijo za izračun emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka uporabnikov avtocestnega omrežja v Sloveniji.

CEU je programsko vodil pripravo izvedbe 25. konference Dnevi energetikov, letnega srečanja energetskih managerjev z več kot 200 udeleženci, kar potrjuje kakovost in prepoznavnost strokovnega dela CEU v javnosti.

Mednarodno sodelovanje

V letu 2023 je CEU sodeloval pri izvedbi 16 mednarodnih projektov, ki se financirajo iz sredstev Evropske unije v okviru programa Horizon 2020, Life, ERASMUS+, Interreg ter programa EUKI in European Climate Foundation. Projekti zajemajo aktivnosti na naslednjih področjih:

- razvoj aplikacij in storitev za ustvarjanje poslovno uspešnih razvoj lokalnih energetskih skupnosti (CREATORS),
- razvoj inovativnih metod za energetske certifikacije stavb (TIMEPAC),
- podpora vrednotenju prihrankov energije – (streamSAVE),
- uvajanje shem refinanciranja za pospešitev izvajanja projektov energetske učinkovitosti – (REFINE),
- uvajanje učinkovitega, ekonomsko odpornega, čistega in podnebno prijaznega ogrevanja in hlajenja pri evropskih potrošnikih (REPLACE),
- podpora učinkovitejšemu doseganju ciljev Slovenije pri zmanjševanju emisij TGP (Celostni integralni projekt LIFE IP CARE4CLIMATE),
- spremljanje steبرا energetske učinkovitosti za podnebno nevtralnost (LIFE21-CET-POLICY-OdysseyMure fit-4-55),
- vrednotenje, kvantifikacija in krepitev izvajanja politik varčevanja z energijo v skladu s 7. členom Direktive o energetske učinkovitosti (LIFE21-CET-POLICY-ENSMOV Plus),
- prilagajanje instrumentov EPC in SRI za doseg polnega potenciala pri energetske prenovi stavb (LIFE-2022-CET – tunES),
- podpora izvajanju pametnega financiranja za energetske prenovi obstoječih zasebnih in/ali javnih stavb, vlaganja v MSP-je terciarni sektor (LIFE22-CET- SMAFIN Expanded),
- EU podnebni dialog (EUKI, Climate Recon 2050),
- strokovnjaki za energetske učinkovitost (EEE),

- izvajanje EU direktive o energetske učinkovitosti (CA – EED3),
- pametno upravljanje in zeleno financiranje za trajnostne in podnebno nevtralne stavbe v srednji Evropi (MESTRI-CE),
- povečanje konsistentnosti scenarijev zmanjšanja emisij toplogrednih plinov v Sloveniji z uporabo orodja Low Carbon Pathways Explorer (ECF – MIRROR),
- ogrevalne zadrage za razogljčenje mest (HeatCOOP).

Projekti vključujejo sodelovanje z raziskovalno-razvojnimi organizacijami iz Evrope z močnim poudarkom na konkretnih aplikativnih primerih in promociji energetske učinkovitosti. V okviru vsakega od projektov so sodelavci CEU sodelovali pri številnih tujih strokovnih srečanjih, obiskih in sestankih.

Raziskovalno-razvojno delo sodelavcev Centra za energetska učinkovitost pomembno prispeva k pripravi ključnih strateških dokumentov v Sloveniji na področju razvoja energetike, energetske učinkovitosti, izrabe obnovljivih virov energije in prehoda Slovenije v podnebno nevtralno družbo, z izobraževalnimi dejavnostmi in podporo industriji pa pomembno prispeva k povečevanju konkurenčnosti in uspešnemu zelenemu tehnološkemu prehodu.

Najpomembnejša dela in dosežki centra v zadnjih treh letih

1. Izdelava več ključnih podpornih dokumentov za Vlado Republike Slovenije na področju energetske podnebne politike: Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt – NEPN, Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050, Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050 idr. ter vzpostavitev celovitega sistema spremljanja izvajanja podnebno energetske politike (Podnebno ogledalo, Kazalci okolja ARSO idr.).
2. Izvajanje izobraževanja energetskih managerjev v okviru evropskega programa EUREM in novega širokega programa usposabljanj za prehod v nizkoogljično družbo projekta LIFE IP CARE4CLIMATE.
3. Strokovna podpora industriji in drugim ustanovam za uspešno izvedbo zelenega tehnološkega prehoda: Strategija energetske in snovne učinkovitosti ter trajnostnega razvoja (DARS, d. d.), izvedbe energetskih pregledov, strokovnega svetovanja in ogličnega odtisa (Luka Koper, Ljubljanske mlekarne, BTC, AMZS, NLB idr.), razvoj naprednih modelov energetskega pogodbenišтва (priprava Evropskega kodeksa ravnanja za energetska pogodbeništvu, razvoj novih instrumentov z EKO Skladom idr.).

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Predstavitev rezultatov projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*, Ljubljana, 26. 1. 2023
2. Kakšna je perspektiva trajnostne prenove in gradnje stavb v Sloveniji?, Prva konferenca Stičišča za trajnostno prenovo in gradnjo stavb, Ljubljana, 3. 4. 2023
3. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Prihodnost ZP in alternativ*, Ljubljana, 11. 4. 2023
4. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Zeleni prehod v industriji*, Ljubljana, 11. 4. 2023
5. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Zanesljivost oskrbe z energijo in energetska učinkovitost*, Ljubljana, 11. 4. 2023
6. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Trajnostni promet in alternativna goriva*, Ljubljana, 17. 4. 2023
7. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Razvoj in možnosti oskrbe Slovenije z električno energijo*, Ljubljana, 17. 4. 2023
8. Strokovni posveti glede posodobitve NEPN, Posvet *Strategija ogrevanja in hlajenja in povezovanje sektorjev*, Ljubljana, 17. 4. 2023
9. 25. Dnevi energetikov, Srečanje energetskih menedžerjev Slovenije, Portorož, 18.–19. april 2023
10. Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Zelena gospodarska rast, Ljubljana, 3. 10. 2023
11. Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Kmetijstvo ter raba zemljišč, sprememba rabe zemljišč in gozdarstvo, Ljubljana, 3. 10. 2023
12. Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Stavbe, Ljubljana, 10. 10. 2023
13. Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Promet, Ljubljana, 10. 10. 2023
14. Dogodek s predavanjem in okroglo mizo: Vpliv avtomobilov na naše vsakdanje življenje in možne alternative. ZRC SAZU. Ljubljana. 16. 10. 2023
15. 15. izobraževanje za evropske energetske menedžerje EUREM XV

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Okoljska analiza naložbenega portfelja NLB v državah JV Evrope
NLB Banka d. d., Sarajevo
mag. Tomaž Fatur
2. 2. SEIF nacionalna okrogla miza, Ljubljana, maj 2023
PRACSIS sprl
mag. Damir Stanič
3. Life IP Care4Climate - podpora izvajanju operativnega programa za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov do 2020 s pogledom do 2030
European Commission
mag. Stane Merše
4. ERASMUS+; EEE - Strokovnjak za energetske učinkovitost
INAPP - L'Istituto nazionale per l'analisi delle politiche pubbliche
dr. Boris Sučić
5. H2020 - REPLACE; Narediti ogrevanje in hlajenje evropskim potrošnikom bolj učinkovito, ekonomsko prilagodljivo, čisto in podnebju prijazno
European Commission
dr. Gašper Stegnar
6. H2020 - REFINE; Vključevanje shem refinanciranja v podporo izvajanju projektov storitev energetske učinkovitosti
European Commission
mag. Damir Stanič
7. H2020 - streamSAVE; Podpora vrednotenju prihrankov energije
European Commission
dr. Matevž Pušnik
8. H2020 - CREATORS; Razvoj aplikacij in storitvenih paketov za ustvarjanje poslovnih uspešnih lokalnih energetskih skupnosti
European Commission
dr. Boris Sučić
9. H2020 - TIMEPAC; Razvoj inovativnih metod za ocenjevanje stanja energetske stanja energetske učinkovitosti in certificiranje stavb
European Commission
dr. Boris Sučić
10. LIFE21-CET-POLICY-OdysseyMure fit-4-55; Odyssey-MURE - Spremljanje stebra energetske učinkovitosti za podnebno nevtralnost
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
dr. Fouad Al-Mansour
11. LIFE21-CET-POLICY-ENSMOV Plus; Vrednotenje, kvantifikacija in krepitev izvajanja politik varčevanja z energijo, v skladu s 7. členom Direktive o energetski učinkovitosti
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
dr. Matevž Pušnik
12. LIFE-2022-CET - tunES; Prilaganje instrumentov EPC in SRI za doseg polnega potenciala pri energetski prenovi stavb
CINEA - The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
dr. Boris Sučić
13. LIFE22-CET- SMAFIN Expanded; Podpora izvajanju pametnega financiranja za energetsko prenovi obstoječih zasebnih in/ali javnih stavb, vlaganja v MSP-je terciarni sektor
European Commission
mag. Damir Stanič
14. ECF - MIRROR; Povečanje konsistentnosti scenarijev zmanjšanja emisij toplogrednih plinov v Sloveniji z uporabo orodja Low Carbon Pathways Explorer
ECF - European Climate Foundation
Marko Đorić, univ. dipl. inž. el.

PROGRAM

1. Modeliranje in ocene posegov v okolju in energetiki
dr. Fouad Al-Mansour

PROJEKTI

1. Eko inovacije in krožno gospodarstvo - pot do bolj trajnostne in vključujoče prihodnosti: vloga demografskih sprememb in digitalizacije
dr. Boris Sučić
2. Ogrevne zadrage za razogljčenje mest
dr. Gašper Stegnar
3. GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije
dr. Gašper Stegnar
4. Medologija umeščanja fotonapetostnih naprav na stavbe kulturne dediščine in v območjih naselbinske dediščine ter posodobitev Smernic za energetske prenovi stavb kulturne dediščine
dr. Gašper Stegnar
5. Ovrednotenje dejavnikov za učinkovito zniževanje emisij toplogrednih plinov
dr. Matevž Pušnik
6. Vzpostavitev in razvoj modelske infrastrukture za ekonomsko vrednotenje učinkov podnebno-energetskih ukrepov na gospodarstvo in družbo
dr. Matevž Pušnik
7. Učinkovito gospodarjenje z energijo v javnem sektorju
dr. Gašper Stegnar
8. Priprava strokovnih podlag, zasnova baze podatkov in razvoj simulacijskega modela vozila za izračun energetskega in okoljskega odtisa za namen optimizacije izvajanja gospodarske javne službe javnega potniškega prometa
dr. Marko Kovač
9. MESTRI-CE: Pametno upravljanje in zeleno financiranje za trajnostne in podnebno nevtralne stavbe v srednji Evropi
City of Vienna
dr. Gašper Stegnar
10. Sofinanciranje projekta LIFE17 IPC7SI/000007 - LIFE IP CARE4CLIMATE
Ministrstvo za okolje in prostor
mag. Stane Merše
11. Osvežitev kazalcev okolje-energija 2021-2023
Ministrstvo za okolje in prostor
Matjaž Česen, univ. dipl. meteorol.
12. Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetski revščini
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Barbara Petelin Visočnik
13. Priprava strokovnih podlag glede podporne sheme in izvedba drugih strokovnih nalog ter ukrepov iz področja energetske učinkovitosti in obnovljivih virov energije
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
14. Strokovna in tehnična podpora pri Celovitem nacionalnem poročanju o napredku pri izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega in podnebne načrta in pripravi njegove posodobitve
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
15. Osvežitev kazalcev podnebno ogledalo
Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo
mag. Barbara Petelin Visočnik
16. EUREM XV - Evropski energetski menedžer, 15. skupina
dr. Boris Sučić

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. OctaGen_Lek
M4M invest, d. o. o.
doc. dr. Marko Matkovič
2. Metodologija in izračun izpustov emisij
DARS - Družba za avtoceste
dr. Marko Kovač
3. Strategija razogljčenja operativnega poslovanja
NLB, d. d.
mag. Tomaž Fatur

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Marko Kovač: Nekaj malega o energiji sonca. Predstavitev za Gimnazijo Antonio Sema. IJS, Ljubljana. 19. 1. 2023
2. Marko Kovač: Avtomobili: med stereotipi in statistiko. Predstavitveno predavanje. Rektorski center Podgorica. IJS. 8. 6. 2023

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Tadeja Janša, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Andreja Urbančič, Predstavitev rezultatov projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*, Ljubljana, 26. 1. 2023 (1; VIB: Predlog ukrepov za zmanjševanje energetske revščine)
2. Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Andreja Urbančič, Energetska revščina: povezovanje politik za skladno naslavljanje izziva, Ljubljana, 28. 2. 2023 (1; VIB: Predstavitev rezultatov projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*)
3. Barbara Petelin Visočnik, Gašper Stegnar, Andreja Urbančič, *Kakšna je perspektiva trajnostne prenove in gradnje stavb v Sloveniji?*, Prva konferenca Stičišča za trajnostno prenovo in gradnjo stavb, Ljubljana, 3. 4. 2023 (1)
4. Edvard Košnjek, Razvoj in možnosti oskrbe Slovenije z električno energijo: javna predstavitev v sklopu Posveta o razvoju in možnosti oskrbe Slovenije z električno energijo, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo RS, Ljubljana, 17. 4. 2023
5. Matjaž Česen, Edvard Košnjek, Stane Merše, Matevž Pušnik, Andreja Urbančič, Priprava scenarijev in usmeritev za posodobitev NEPN: javna predstavitev v sklopu Posveta o razvoju in možnosti oskrbe Slovenije z električno energijo, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo RS, Ljubljana, 17. 4. 2023
6. Fouad Al-Mansour, Marko Dorič, Tomaž Fatur, Marko Kovač, Stane Merše, Matevž Pušnik, Gašper Stegnar, Boris Sučić, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, 25. Dnevi energetikov, Srečanje energetskih menedžerjev Slovenije, Portorož, 18.–19. april 2023 (MES, FAT, PUM, SUB so vodili panele)
7. Marko Kovač: Road Towards More Sustainable Transport – Case of Slovenia. 4th EU Macro-Regional Strategies Week Online Stakeholder Session *Tackling the energy crisis in transport – smart solutions from MRS for a joint policy dialogue*. Hibradni dogodek, 25. 4. 2023
8. Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Andreja Urbančič, Delavnica za oblikovanje neformalne mreže za informiranje in ozaveščanje o energetske revščini, virtualno, 23. 5. 2023 (TRK, VIB sta vodili delo po skupinah)
9. Jure Čizman, Tomaž Fatur, Tadeja Janša, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Damir Staničič, Gašper Stegnar, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Andreja Urbančič, 2. nacionalna okrogla miza o financiranju energetske učinkovitosti v Sloveniji, Ljubljana, 24. 5. 2023
10. Edvard Košnjek, Boris Sučić, Lokalne energetske skupnosti kot instrument za uresničevanje nacionalnih energetskih in podnebnih ciljev na podjetniški in lokalni ravni, 16. konferenca slovenskih elektro-energetikov CIGRE-CIRED, Bled, od 30. 5. do 1. 6. 2023
11. Edvard Košnjek, Boris Sučić, Challenges of integrating solar photovoltaic plants into urban environments: energy communities as a platform for connecting and self-supplying multi-apartment buildings, 18th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Hrvaška, od 24. do 28. 9. 2023
12. Marko Dorič, Tadeja Janša, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Zelena gospodarska rast, Ljubljana, 3. 10. 2023 (3; VIB: Doseganje nacionalnih ciljev; JAT: Kazalci Podnebnega ogledala za zeleno gospodarsko rast – trenutno stanje in možnosti za njihovo uporabo; JAT: Novi cilji, novi kazalci – predlogi novih kazalcev za spremljanje doseganja ciljev in izvajanje ukrepov do leta 2030)
13. Marko Dorič, Tadeja Janša, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Kmetijstvo ter raba zemljišč, sprememba rabe zemljišč in gozdarstvo, Ljubljana, 3. 10. 2023 (1; DOM: Doseganje nacionalnih ciljev)
14. Barbara Petelin Visočnik, Gašper Stegnar, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Stavbe, Ljubljana, 10. 10. 2023 (3; UDA: Doseganje nacionalnih ciljev; VIB: Kazalci Podnebnega ogledala za stavbe – trenutno stanje in možnosti za njihovo uporabo; VIB, UDA: Novi cilji, novi kazalci – predlogi novih kazalcev za spremljanje doseganja ciljev in izvajanje ukrepov do leta 2030)
15. Matjaž Česen, Marko Kovač, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Ana Marija Udovič, Kazalci Podnebno ogledalo – kje smo in kako naprej, Promet, Ljubljana, 10. 10. 2023 (3; KOM: Doseganje nacionalnih ciljev; CEM: Kazalci Podnebnega ogledala za promet – trenutno stanje in možnosti za njihovo uporabo; CEM: Novi cilji, novi kazalci – predlogi novih kazalcev za spremljanje doseganja ciljev in izvajanje ukrepov do leta 2030)
16. Marko Kovač, Katarina Trstenjak: Avtomobili: med stereotipi in statistiko. ZRC SAZU. Ljubljana. 16. 10. 2023
17. Matjaž Česen, Edvard Košnjek, Stane Merše, Matevž Pušnik, Gašper Stegnar, Andreja Urbančič, Predstavitev NEPN in predstavitev ukrepov za področje stavb: Strokovni posvet v Državnem svetu RS, *Z NEPN do jasnih smernic za zeleno preobrazbo gospodarstva*, Ljubljana, 13. 11. 2023
18. Marko Kovač, Stane Merše: Vodik. Izzivi in priložnosti uporabe zelenega vodika. Energetika Maribor in Energetsko podnebna agencija za Podravje (Energap). Maribor. 23. 11. 2023
19. Jure Čizman, Damir Staničič, Katarina Trstenjak, 1. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Maribor, 30. 3. 2023 (2; CIJ: Pregled stanja LEK in ugotovitve analize; Predlogi prenove LEK)
20. Jure Čizman, Katarina Trstenjak, 2. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Ajdovščina, 4. 4. 2023 (2; CIJ: Pregled stanja LEK in ugotovitve analize; Predlogi prenove LEK)
21. Jure Čizman, Damir Staničič, 3. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Luče, 12. 4. 2023 (2; CIJ: Pregled stanja LEK in ugotovitve analize; Predlogi prenove LEK)
22. Jure Čizman, Katarina Trstenjak, 4. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Dol pri Hrastniku, 7. 6. 2023 (2; CIJ: Pregled stanja LEK in ugotovitve analize; Predlogi prenove LEK)
23. Jure Čizman, Katarina Trstenjak, 5. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Kranj, 20. 6. 2023 (2; CIJ: Pregled stanja LEK in ugotovitve analize; Predlogi prenove LEK)
24. Jure Čizman, Damir Staničič, Gašper Stegnar, Katarina Trstenjak, 6. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Ptuj, 26. 9. 2023 (2; STG: Vloga občin pri spodbujanju postopne celovite prenove stavb; CIJ: Orodja za podporo analizam in načrtovanju v okviru LEK)
25. Jure Čizman, Gašper Stegnar, 7. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Koper, 24. 10. 2023 (2; STG: Vloga občin pri spodbujanju postopne celovite prenove stavb; CIJ: Orodja za podporo analizam in načrtovanju v okviru LEK)
26. Jure Čizman, Gašper Stegnar, 8. delavnica Nadgradnja lokalnih energetskih konceptov, Ljubljana, 7. 12. 2023 (2; CIJ: Izzivi priprave in izvajanja LEK; Razvoj LEK: ključni elementi nadgradnje metodologije in podpornega okolja s prikazom praktičnega primera)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Fouad Al-Mansour
2. doc. dr. Marko Matkovič
3. **mag. Stane Merše, vodja centra**
4. mag. Damir Staničič
5. dr. Gašper Stegnar
6. dr. Boris Sučić
7. mag. Andreja Urbančič

Podoktorski sodelavci

8. dr. Matevž Pušnik

Mlajši raziskovalci

9. Ana Marija Udovič, Msc. Avstrija

Strokovni sodelavci

10. Matjaž Česen, univ. dipl. meteorol.
11. mag. Jure Čizman
12. Marko Dorič, univ. dipl. inž. el.
13. mag. Tomaž Fatur
14. Tadeja Janša, mag. posl. ved.
15. mag. Edvard Košnjek
16. dr. Marko Kovač
17. mag. Goran Matešić
18. Marko Pečkaj, univ. dipl. inž. str.
19. mag. Barbara Petelin Visočnik
20. Luka Tavčar, univ. dipl. inž. str.
21. Katarina Trstenjak, univ. dipl. geog.
22. Tehniški in administrativni sodelavci
23. Marija Kavčič, dipl. ekon.
24. Igor Ribič

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Agence De L'environnement Et De La Maitrise De L'energie-ADEME, Angers, Francija
2. Agencija RS za okolje, Ljubljana, Slovenija
3. Agencija za energijo, Maribor, Slovenija
4. AMZS, d. d., Ljubljana, Slovenija
5. Arbeitsgemeinschaft für Sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) im VKU, Köln, Nemčija
6. Austrain Energy Agency, Dunaj, Avstrija
7. ATEE, Association technique energie environnement, Puteaux, Francija
8. Berliner Energie Agentur, Berlin, NemčijaBrunel University London, Velika Britanija
9. BTC, d. d., Ljubljana, Slovenija
10. Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani (CPOEF), Ljubljana, Slovenija
11. Circe, Zaragoza, Španija
12. COGEN Europe, Bruselj, Belgija
13. CREA CONSULTORES SL, Madrid, Španija
14. CRES, Pikermi, GrčijaCyprus University of Technology, CiperDanish Energy Agency, København, Danska
15. DARS – družba za avtoceste, Celje, SlovenijaECI, Bruselj, Belgija
16. Ecologic Institute, Berlin, Nemčija
17. EEVS Insight Limited, Rochester, Velika Britanija
18. Elektroiustitut Milan Vidmar, Ljubljana, Slovenija
19. Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija
20. EKODOMA, Riga, LatvijaELEK svetovanje, d. o. o., Ljubljana
21. Elektro Slovenija, Ljubljana, Slovenija
22. ENERDATA SAS, Grenoble, Francija
23. Energetické Centrum Bratislava, Bratislava, Slovaška
24. Energetika Ljubljana, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
25. Energetika Maribor, d. o. o., Maribor, Slovenija
26. Energetska zbornica Slovenije (EVS), Ljubljana, Slovenija
27. Energetski institut Hrvoje Pozar – EHP, Zagreb, Hrvatska
28. Energy Saving Trust, London, Velika Britanija
29. ENOS, d. d.EPG, energy policy group, Bukarešta, Romunija
30. EUREM Consortium c/o IHK, Nürnberg, Nemčija,
31. Euroheat & Power (EHP) in DHC+, Bruselj, Belgija
32. European Federation of Intelligent Energy Efficiency Services, Bruselj, Belgija,
33. EVA, Dunaj, Avstrija
34. Evropska komisija, Bruselj, Belgija
35. E7 Energie Markt Analyse, Dunaj, Avstrija
36. Factor 4 BVBA, Duffel, BelgijaFinance, Ljubljana, Slovenija
37. FIRE - FEDERAZIONE ITALIANA PER L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA, Rim, Italija
38. Focus, društvo za sonaravni razvoj pri izvedbi treh posvetov o podnebnem upravljanju in zakonu
39. Fraunhofer Gesellschaft zur Foerferung dr Angewandten Forschung E.V., Munchen, Nemčija
40. Geološki zavod Slovenije (GeoZS), Ljubljana, Slovenija
41. Geoplin, Ljubljana, SlovenijaGoodyear, Kranj, Slovenija
42. Goriška lokalna energetska agencija – GOLEA, Nova Gorica, Slovenija
43. Gospodarska zbornica, Ljubljana, Slovenija
44. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
45. Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana, Slovenija
46. Grazer Energie Agentur, Gradec, Avstrija
47. Holding Slovenske elektrarne, Ljubljana, Slovenija
48. IEECP, Amsterdam, Nizozemska
49. IAEA, Dunaj, Avstrija
50. Informa Echo, Ljubljana, Slovenija
51. Institut za ekonomska raziskovanja, IER, Ljubljana, Slovenija
52. Inštitut za ekologijo, Ljubljana, Slovenija
53. IREES GmbH - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Nemčija
54. Irish Energy Centre, Dublin, IrskalSR - Instituto de Sistemas e Robótica, Coimbra, Portugalska
55. Istituto Di STUDI Per L'integrazione Dei Sistemi (I.S.I.S) – Societa'Cooperativa, Roma, Italija
56. Instituto Para La Diversificacion Y Ahorro De La Energia, Madrid, Španija
57. KAPE – Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Varšava, Poljska
58. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
59. Koto, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
60. LGI Consulting, Pariz, Francija
61. Lineal biro za projektiranje, inženiring, storitve in gradbeništvo, d. o. o. (Lineal, d. o. o.)
62. Lithuanian Energy Agency, Vilnius, Litva
63. Lokalna energetska agencija Gorenjske, LEAG, Kranj, Slovenija
64. Ljubljanske mlekarne, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
65. Luka Koper, Koper, SlovenijaMalaga City Council, Malaga, Španija
66. MEKH, Hungarian Energy and Public Utility Regulatory Authority, Budimpešta Madžarska
67. Mestna občina Kranj, Slovenija
68. Mestna občina Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
69. Ministerul Energiei – România, Bukarešta, Romunija
70. Ministrstvo za gospodarstvo, Ljubljana, Slovenija
71. Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, Slovenija
72. Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenija
73. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
74. MOTIVA, Helsinki, FinskaNLB, d.d., Ljubljana, Slovenija
75. Odelo Slovenija, d. o. o., Prebold, Slovenija
76. O. Ö. Energiesparverband, Linz, Avstrija
77. Petrol, d. d., Ljubljana, Slovenija
78. PIC - Pravni center za varstvo človekovih pravic in okolja
79. Plinovodi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
80. PNZ svetovanje projektiranje, Ljubljana, Slovenija
81. Politecnico di Torino, Torino, Italija
82. RAP - The Regulatory Assistance Project, Bruselj, Belgija
83. Resalta, družba za upravljanje energetskih storitev, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
84. RVO Netherlands Enterprise Agency, Nizozemska
85. Salonit, Anhovo, Slovenija
86. Sberbank banka, d. d., Ljubljana, Slovenija
87. Sdruzhenie Chernomorski Izsledovatelski Energien Tsentar, Sofija, Bolgarija
88. SDH – Slovenski državni holding, Ljubljana, Slovenija
89. SEVEN, The Energy Efficiency Center, Praga, Češka
90. SID banka, d. d., Ljubljana, Slovenija
91. SIJ Acroni d. o. o., Jesenice, Slovenija
92. SIJ Metal Ravne, d. o. o., Slovenija
93. Slovensko-nemška gospodarska zbornica, Ljubljana, Slovenija
94. Statistični urad RS, Ljubljana, Slovenija
95. Stockholm Keskonnainstituudi Tallinna Keskus, Talin, Estonija
96. Sustainable Energy, Dublin, Irsko
97. TANIN Sevnica, d. d., Sevnica, Slovenija
98. TEESlab - Technoeconomics of Energy Systems, University of Piraeus, Pirej, Grčija
99. Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Modena, Italija
100. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
101. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
102. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
103. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
104. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Portorož, Slovenija
105. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
106. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
107. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
108. Univerza v Zagrebu, Fakulteta za strojništvo in ladjedelništvo, Zagreb, Hrvatska
109. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana, Slovenija
110. VITO, Antwerp, BelgijaWiseEuropa-Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich, Varšava, Poljska
111. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

CENTER ZA ELEKTRONSKO MIKROSKOPIJO IN MIKROANALIZO

CEMM

Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM) je instrumentalni center IJS, ki združuje analitsko opremo s področja elektronske mikroskopije in mikroanalize. Dostop do raziskovalne opreme Centra imajo poleg vseh odsekov IJS tudi druge raziskovalne institucije, univerze in industrijski partnerji. Opremo Centra uporabljajo raziskovalci, ki jih zanima strukturna in kemijska karakterizacija materialov na mikrometrski in atomarni ravni. V okviru Centra so v letu 2023 delovali trije vrstični elektronski mikroskopi (JSM-7600F, Verios G4 HP in Quanta 650), dva presevalna elektronska mikroskopa (JEM-2100 (CO NiN) in Spectra 300) ter oprema za pripravo vzorcev SEM in TEM. Poleg navedene opreme je IJS solastnik mikroskopa JEM-ARM200F (20 %) s Cs korektorjem za atomarno ločljivost, ki je na Kemijskem inštitutu. CEMM in sodelavci IJS bodo imeli v prihodnje dostop tudi do vrstičnega presevalnega elektronskega mikroskopa Talos, do novega FIB in do novega vrstičnega elektronskega mikroskopa Apreo, vse od proizvajalca Thermo Fisher. V letu 2023 je potekala tudi obširna adaptacija prostorov za TEM področje v okviru CEMM, kjer sta inštalirana mikroskopa Talos in Spectra 300.



Vodja:
prof. dr. Miran Čeh

Visokoločljivostni vrstični elektronski mikroskop Verios G4 HP (Thermo Fisher Scientific) je edini tovrstni mikroskop v tem delu Evrope in omogoča ultimativno slikovno ločljivost pri nizkih vzbujevalnih napetostih. Zaradi visoke slikovne ločljivosti pri nizkih vzbujevalnih napetostih je možno opazovati neprevodne vzorce. Poleg občutljivega detektorja EDXS je mikroskop opremljen tudi z najsodobnejšim detektorjem za presevalno vrstično elektronsko mikroskopijo (STEM).

Vrstični elektronski mikroskop Quanta 650, Thermo Fisher Scientific je operativen v treh vakuumskih območjih, ki se dosežejo z diferencialnim črpanjem, kar omogoča preiskavo širokega izbora materialov, tako prevodnih kot neprevodnih.

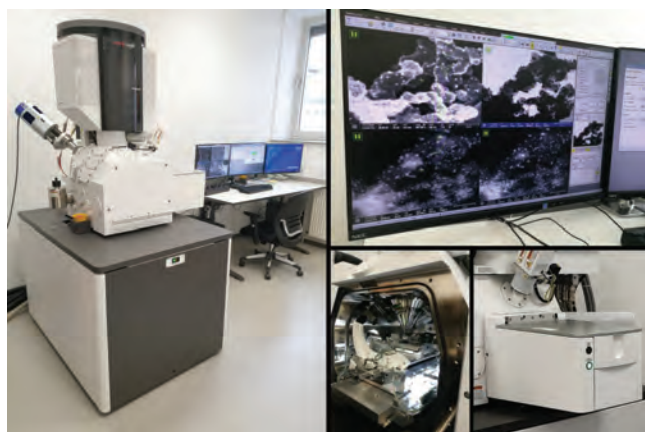
Vrstični presevalni elektronski mikroskop Spectra 300 (Thermo Fisher Scientific) je state-of-the-art raziskovalna oprema zadnje generacije presevalnih elektronskih mikroskopov ter omogoča celovito strukturno in kemijsko karakterizacijo materialov na atomski in subatomske ravni. Mikroskop ima FEG izvor elektronov, korektor sferične aberacije in monokromator ter omogoča izvajanje naslednjih tehnik presevalne elektronske mikroskopije: opazovanje s paralelnim elektronskim snopom (TEM, HRTEM), elektronsko difrakcijo (SAED, CBED, PED), 4D STEM, kvalitativno in kvantitativno kemijsko analizo (EDXS, EELS), vse ob ultimativni slikovni in analizi ločljivosti na atomski in subatomske ravni.

Raziskave materialov, v katere so vključeni operaterji IJS in osebje Centra, se razlikujejo glede preiskovanih materialov in glede uporabljenih metod elektronske mikroskopije:

- Vrstična elektronska mikroskopija se uporablja za opazovanje morfologije in strukture površin materialov ter za preiskave mikrostruktur in določevanje kemijske sestave materialov. V okviru CEMM se prvenstveno preiskujejo keramični materiali (polikristalinični oksidi), številni nanostrukturni materiali, kovine in zlitine, stekla itd.



Slika 1: Vrstični elektronski mikroskop JSM-7600F



Slika 2: Vrstični elektronski mikroskop Verios 4G HP



Slika 3: Vrstični elektronski mikroskop ESEM Quanta 650



Slika 4: Vrstični presevalni elektronski mikroskop Spectra 300

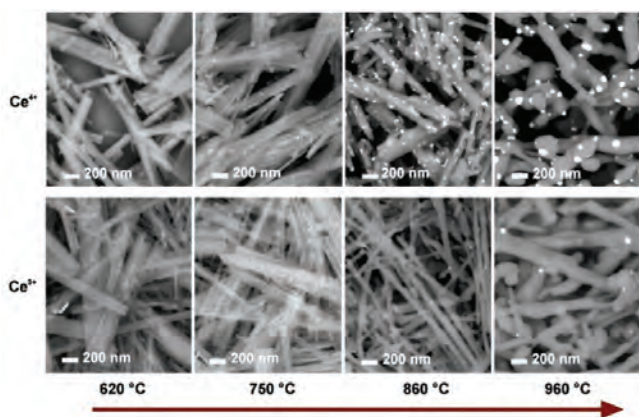
- Presevalna elektronska mikroskopija ponuja celovit vpogled v strukturo preiskovanega materiala v nanometrskem merilu (atomarna raven). Omogoča strukturne in kemijske preiskave med zrn in študijo raznih vključkov, določitev planarnih napak in dislokacij v materialih. Na presevalnih elektronskih mikroskopih je možno izvajati tudi *in-situ* poskuse (segrevanje in hlajenje vzorcev, opazovanje reakcij v tekočinah in zasledovanje elektrokemijskih reakcij, kar vse omogočajo posebne izvedbe nosilcev za vzorce).
- Center upravlja še z nujno potrebno opremo za izdelavo in pripravo vzorcev SEM in TEM.

Za delovanje Centra skrbi ustrezno usposobljeno osebje. Med dejavnosti Centra spada izvajanje storitev za zunanje naročnike, uvajanje novih analitskih tehnik elektronske mikroskopije, izobraževanje novih operatorjev na opremi CEMM, organiziranje strokovnih delavnic in srečanj na temo elektronske mikroskopije. Center nadalje izvaja akcije za popularizacijo področja elektronske mikroskopije v okviru obiskov, ki jih organizira IJS, ter prek objav v klasičnih in digitalnih medijih.

Primeri mikrostrukturnih in nanostrukturnih analiz materialov, opravljenih na opremi CEMM

Primere uporabe različnih tehnik elektronske mikroskopije pri strukturni in kemijski karakterizaciji materialov so prispevali operatorji odsekov IJS in zaposleni v CEMM.

1. Študija vloge cerijeve valence pri temperaturi pretvorbi $H_2Ti_3O_7$ nanotrakov v TiO_2 -B nanotrakove v anatasne nanotrakove ter naprej v rutil



Slika 5: SEM-slika razvoja nanodelcev CeO_2 na površini nanotrakov TiO_2 in fragmentacija morfologije nanotrakov z naraščajočimi temperaturami kalibracije za Ce^{4+} -HTiNR (zgoraj) in Ce^{3+} -HTiNR (spodaj), ki sta bila kalcinirana pri 620 °C, 750 °C, 860 °C in 960 °C. Področja z nanodelci CeO_2 na slikah so svetlejša. (Polona Umek, F5, SEM Verios G4 HP).

Analiza nanodelcev CeO_2 na površini nanotrakov TiO_2 . Pri šarži Ce^{4+} so bili nanodelci opaženi pri 750 °C, pri šarži Ce^{3+} pa pri 860 °C. SEM slike, narejene z uporabo detektorja povratno sipanih elektronov, so bile posnete pri enaki povečavi.

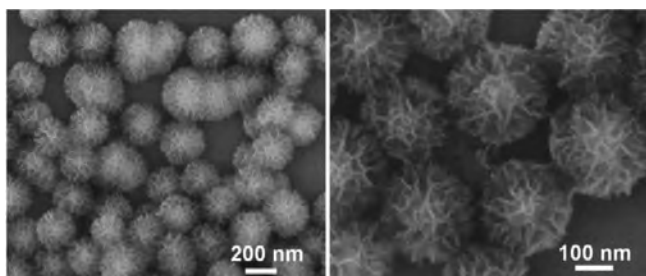
Vir: Umek, Polona, Dürrschnabel, Michael, Molina-Luna, Leopoldo, Škapin, Srečo D., Cerc Korošec, Romana, Bittencourt, Carla. The role of cerium valence in the conversion temperature of $H_2Ti_3O_7$ nanoribbons to TiO_2 -B and anatase nanoribbons, and further to rutile. *Molecules*. 2023, vol. 28, 15, str. 1-14, ilustr. ISSN 1420-3049. <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/15/5838>, DOI: 10.3390/molecules28155838. [COBISS.SI-ID 160531203]

2. Analiza nanodelcev železovega oksida

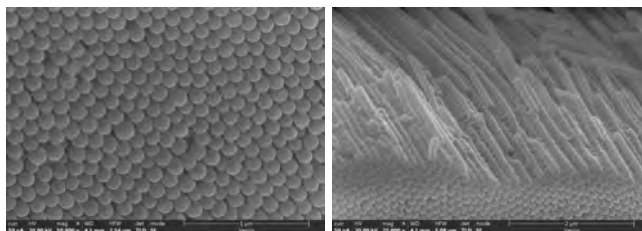
Študija nanodelcev železovega oksida z oblogo iz mezoporoznega silicijevega dioksida.

3. Analiza RHEA nanoccev

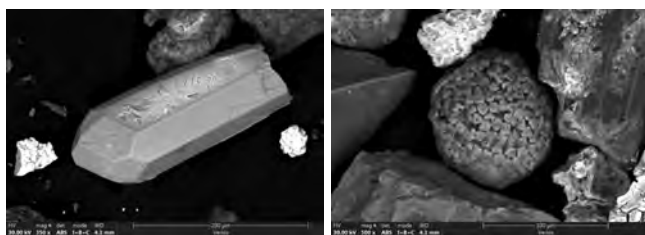
Študija RHEA nanoccev visoko entropijske zlitine na osnovi Ti, Zr, Hf, Nb, Ta in Zn.



Slika 6: SEM-posnetek nanodelcev železovega oksida z oblogo iz mezoporoznega silicijevega dioksida (Sebastjan Nemec, K8, SEM Verios G4 HP)



Slika 7: SEM-posnetek nanoccev (Bor Arah, CEMM, Barbara Ljubec Božiček, K7, SEM Verios G4 HP)



Slika 8: SEM-posnetek rečnih usedlin (Aleksander Učakar, CEMM, SEM Verios G4 HP)

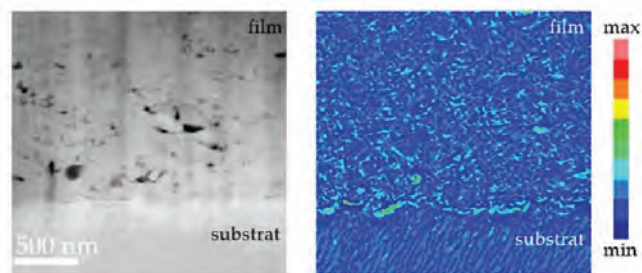
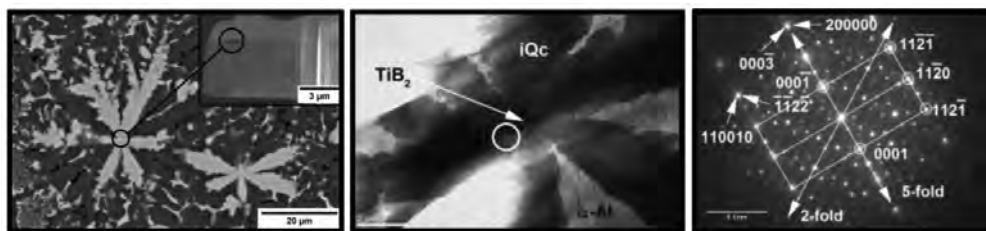
4. Analiza rečnih usedlin

Študija rečnih usedlin reke Mežice.

5. $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{--PbTiO}_3$ tanki filmi na substratu

STEM-slika v temnem polju stika med debelo plastjo $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{--PbTiO}_3$, naneseno v aerosolu, in podlage iz nerjavečega jekla z ustrezno porazdelitvijo divergence, pridobljeno iz nabora podatkov 4D STEM z uporabo diferencialnega faznega kontrasta. Območja z večjim kontrastom predstavljajo večjo lokalno napetost. Podatki 4D STEM so bili pridobljeni z matričnim detektorjem Merlin (Quantum Detectors, Oxford, Anglija).

Vir: Žiberna, Katarina, Šadl, Matej, Drnovšek, Aljaž, Dražič, Goran, Uršič Nemevšek, Hana, Benčan, Andreja. Influence of thermal treatment on the cross-sectional properties of aerosol-deposited $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{--PbTiO}_3$ thick films. *Crystals*. Mar. 2023, vol. 13, iss. 3, [article no.] 536, str. 1-10, ilustr. ISSN 2073-4352. <https://www.mdpi.com/2073-4352/13/3/536>, DOI: 10.3390/cryst13030536. [COBISS.SI-ID 146071811]

Slika 9: STEM-posnetek stika plasti $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{--PbTiO}_3$ in podlage iz nerjavečega jekla (Andreja Benčan, K5, JEM 2100 and ARM 200CF)

Slika 10: (levo) SEM-slika primarnih IQC faz z dvema delcema TiB_2 v sredini; vložek prikazuje lamelo FIB, ekstrahirano iz središča faze IQC, vključno z delcem TiB_2 . Krogi prikazujejo območje zanimanja. (sredina in desno) Slika v svetlem polju in vzorec elektronske difrakcije (SAED) izbranega območja na TEM-vzorcu. (sredina) Faza IQC z delcem TiB_2 v središču in okoliško matriko αAl . (desno) SAED elektronska difrakcija vmesnika med TiB_2 in fazo IQC. Beli krog na sredinski sliki označuje lokacijo, kjer je bila posneta elektronska difrakcija SAED, medtem ko beli krogi na sliki desno označujejo vrhove, ki predstavljajo ravnine TiB_2 . Ujemajoče se ravnine med TiB_2 in IQC so označene z belimi puščicami. (Sandra Drev, CEMM, Blaž Leskovar, NTF, Spectra 300).

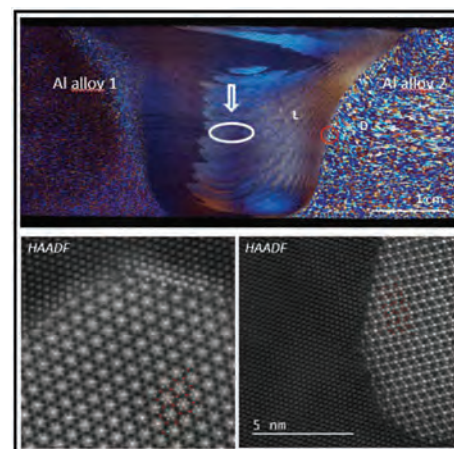
6. Študija heterogene nukleacije in orientacijskega razmerja ikozaedrične faze z inokulantom TiB_2

Študija elektronske difrakcije (SAED) vzorca TiB_2 v Al-Mn-Si-Cu-Mg zlitini. Gre za nukleacijo metastabilne ikozaedrične kvazikristalne faze (IQC), ki nastane z dodajanjem TiB_2 v zlitino. Material tako dobi lastnosti lahke zlitine, uporabne tako v avtomobilski kot zračno-vesoljski industriji.

Vir: Leskovar, Blaž, Šurm, Sašo, Delijić, Kemal, Ledieu, Julian, Podlogar, Matejka, Drev, Sandra, Naglič, Iztok, Markoli, Boštjan. Heterogeneous nucleation and orientation relationships of icosahedral phase with TiB_2 inoculants. *Journal of alloys and compounds*. [Printed.]. 2023, vol. 968, str. 1-11. ISSN 0925-8388. DOI: 10.1016/j.jallcom.2023.172195. [COBISS.SI-ID 165592067].

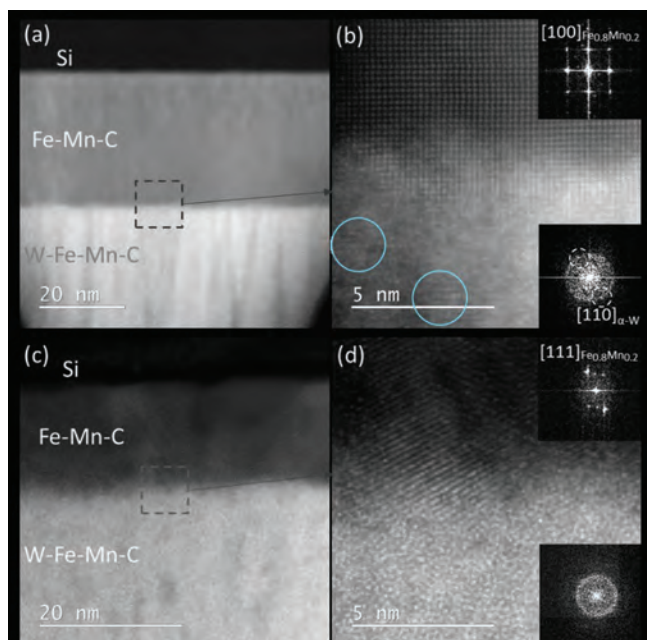
7. Študija zvara dveh visoko trdnostnih Al zlitin

STEM-analiza prikazuje kompleksno mikrostrukturno študijo zvara dveh visoko trdnostnih Al zlitin (Al-Cu-Mg in Al-Cu-Mg-Zr), posneta na novem STEM-mikroskopu Spectra 300. Zlitino sestavljajo številne intermetalne faze (precipitati/izločki, dispersoidi, netopne faze ipd.). Gre za prikaz ene izmed številnih faz v zlitini, nastalih zaradi vključitve legirnih elementov za izboljšanje

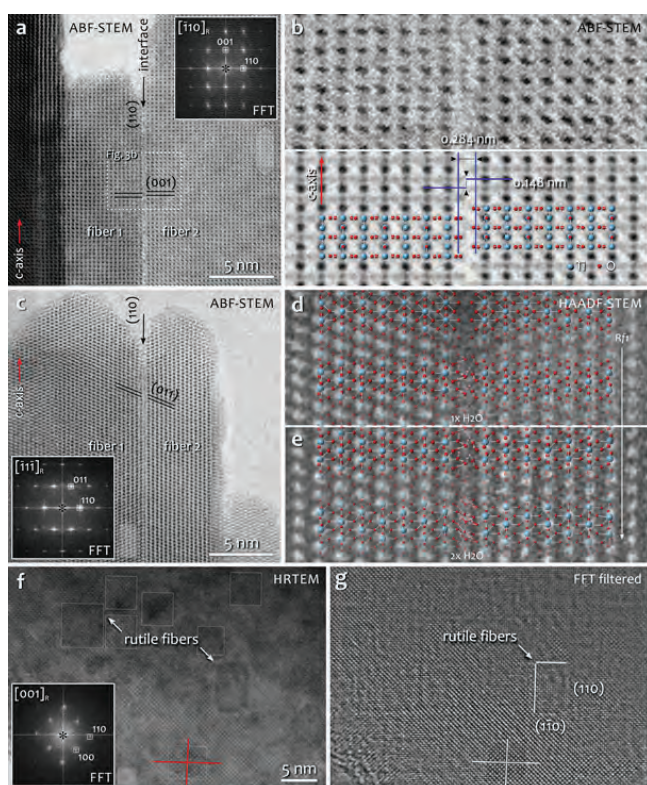


Slika 11: Posnetek zvara dveh aluminijevih zlitin (zgoraj) in STEM-sliki detajla kristalnih struktur s strukturnim modelom (spodaj), (Sandra Drev, CEMM, Spectra 300)

trdnosti, korozijske odpornosti, kontrole velikosti kristalnih zrn in naknadnih toplotnih obdelav (homogenizacija + topilno žarjenje + precipitacijsko utrjevanje). Za zajem STEM-slike je bil uporabljen detektor HAADF (kot zajemanja 49–200 mrad), razdalja kamere 115 mm, v *nano-probe* načinu v seriji 10 zaporednih slik. Naknadno je bila za sliko uporabljena integrirana funkcija DCFI (optimizirana za periodične slike) za korekcijo premika vzorca (drift), kar pomembno poveča kontrast in zmanjša napake akvizicije.



Slika 12: HAADF-STEM-posnetek prereza lamel vzorca A: (a)–(b) in vzorca B: (c)–(d). Slike HAADF-STEM v atomskem merilu (b in d) prikazujejo strukturo plasti na vmesniku. Vzorci FFT vsake plasti so prikazani kot vstavki slik in prikazujejo osnovno strukturo. Modri krogi na sliki (b) prikazujejo kristale α -W nano velikosti v pretežno amorfni matrični fazi. (Sorour Semsari Parapari, K7, JEM-ARM 200CF; JEOL).



8. Študija sloja Fe–Mn–C in biorazgradljive prevleke W–Fe–Mn–C

Analiza HAADF-STEM z visoko ločljivostjo na medfaznem območju substrata Si, sloja Fe–Mn–C in biorazgradljive prevleke W–Fe–Mn–C, napršene z magnetronom, pridobljene iz dveh vzorcev z različnimi temperaturami nanašanja (vzorec A in vzorec B). Rezultati HAADF-STEM so bili pridobljeni iz prereza lamel vzorca A: (a)–(b) in vzorca B: (c)–(d). Na slikah z majhno povečavo (a in c) so jasno označene različne plasti. Slike HAADF-STEM v atomskem merilu (b in d) prikazujejo strukturo plasti na vmesniku. Vzorci FFT vsake plasti so prikazani kot vstavki slik in prikazujejo osnovno strukturo. Modri krogi na sliki (b) prikazujejo kristale α -W nano velikosti v pretežno amorfni matrični fazi.

Vir: S. Ravanbakhsh, et al., *European Journal of Mechanics / A Solids* 101 (2023) 105072, <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2023.105072>

9. Študija vlaknastih rutilnih struktur, ki sprožijo spontano disociacijo vode

Ozadje raziskave: Interakcije vode z mineralnimi površinami so odločilne za vsak fotokatalitski proces. V tej študiji so raziskovali vpliv strukturne konfiguracije medpovršin med epitaksialno raslimi rutilnimi fibri na transfer protona in disociacijo vode. Ugotovili so, da pri določeni translaciji med fibri pride do tvorbe t. i. kooperativnih vodikovih vezi, ki vodijo do razklopa vode. Gre za prvi primer mineralne medpovršine s spontano disociacijo vode, kar obeta novo smer v raziskavah katalitske cepitve vode.

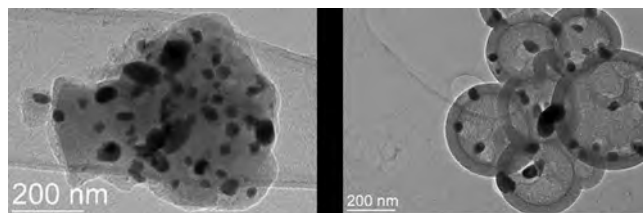
Vir: Vesna Ribič, Vanja Jordan, Sandra Drev, Janez Kovač, Goran Dražič and Aleksander Rečnik. Mnemonic rutile–rutile interfaces triggering spontaneous dissociation of water. *Advanced Materials* 36/4 e2308027. DOI: 10.1002/adma.202308027.

Slika 13: (zgoraj) STEM-študija rutilnih fibrov kaže njihovo tesno zraščanje in značilno translacijo. (a) (110) medpovršine med fibri so strogo definirane in ravne na atomarni ravni. (b) Zgornji del slike prikazuje eksperimentalno ABF-STEM-sliko visoke ločljivosti rutil-rutil medpovršine v [1–10] projekciji (prikazani izrez je označen na sliki 3a), s sistematično lateralno κ [110] in vertikalno v [001] translacijo 0,284 nm in 0,148 nm. Translacije so upoštevane pri konstrukciji začetnega Rf1 strukturnega modela medpovršine, prikazanega v spodnjem procesiranem delu ABF-STEM-posnetka. (c) Rutil-rutil medpovršina vzdolž [1–11] projekcije, ki kaže na prehod (011) mrežnih ravnin preko (110) medpovršine. (d) HAADF-STEM-posnetek tankega dela kristala z modelom Rf1 (zgoraj) in njegovo DFT relaksirano različico z $1 \times H_2O$ na medpovršini (spodaj). (e) Debelejši del kristala z DFT relaksirano različico modela Rf1 z $2 \times H_2O$ na medpovršini (spodaj). (f) HRTEM-posnetek rutilnih fibrov vzdolž c-osi prikazuje, da so rutilni fibri terminirani z {110} ravninami. V tej projekciji na teh mrežnih ravninah ni opaziti nobene dodatne translacije. (g) FFT filtriran HRTEM-posnetek s povečanim kontrastom prikazuje labirintu podobno teksturo fibrov v opazovanem snopu.

10. Študija elektrokatalizatorjev na osnovi Ni-P/C

TEM-slika v svetlem polju sintetiziranih Ni-P/C katalizatorjev, ki vsebujejo Ni-P nanodelce, podprte v ogljikovi matrici.

Vir: L.A. Stern, L. Feng, F. Song, X. Hu, *Ni₂P as a Janus catalyst for water splitting: The oxygen evolution activity of Ni₂P nanoparticles*. *Energy Environ. Sci.* 8 (2015) 2347-2351. S. Hou, X. Xu, M. Wang, Y. Xu, T. Lu, Y. Yao, L. Pan, *Carbon-incorporated Janus-type Ni₂P/Ni hollow spheres for high performance hybrid supercapacitors*. *J. Mater. Chem. A* 5 (2017) 19054-19061. Q. Wang, S. Chen, F. Shi, K. Chen, Y. Nie, Y. Wang, R. Wu, J. Li, Y. Zhang, W. Ding, Y. Li, L. Li, Z. Wei, *Structural Evolution of Solid Pt Nanoparticles to a Hollow PtFe Alloy with a Pt Skin Surface via Space-Confined Pyrolysis and the Nanoscale Kirkendall Effect*. *Adv. Mater.* 28 (2016) 10673-10678.



Slika 14: (levo) TEM-slika elektrokatalizatorja na osnovi Ni-P/C z razmerjem fosfat/polidopamin 0,15. (desno) TEM-slika elektrokatalizatorja na osnovi Ni-P/C z razmerjem fosfat/polidopamin 0,6. (Petra Drnovšek, CEMM, JEM-2100).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Umek, Polona, Dürschnabel, Michael, Molina-Luna, Leopoldo, Škapin, Srečo D., Cerc Korošec, Romana, Bittencourt, Carla, The role of cerium valence in the conversion temperature of H₂Ti₃O₇ nanoribbons to TiO₂-B and anatase nanoribbons, and further to rutile, *Molecules*, 2023, 28, 15, 1-14, DOI: 10.3390/molecules28155838
2. Žiberna, Katarina, Šadl, Matej, Drnovšek, Aljaž, Dražič, Goran, Uršič Nemevšek, Hana, Benčan, Andreja, Influence of thermal treatment on the cross-sectional properties of aerosol-deposited Pb(Mg₁/3Nb₂/3)O₃-PbTiO₃ thick films, *Crystals*, 2023, 13, 3, 536, 1-10, DOI: 10.3390/cryst13030536
3. Leskova, Blaž, Šturm, Sašo, Delijić, Kemal, Ledieu, Julian, Podlogar, Matejka, Drev, Sandra, Naglič, Iztok, Markoli, Boštjan, Heterogeneous nucleation and orientation relationships of icosahedral phase with TiB₂ inoculants, *Journal of alloys and compounds*, 2023, 968, 172195, DOI: 10.1016/j.jallcom.2023.172195
4. S. Ravanbakhsh, et al., *European Journal of Mechanics-A Solids*, 2023, 101, 105072, <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2023.105072>

MEDNARODNA PROJEKTA

1. OE - EUOfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
dr. Andreja Šestan Zavašnik
2. OE - EUOfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
dr. Andreja Šestan Zavašnik

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Karakterizacija primarne ovojnine, nagnjenost primarne ovojnine k delaminaciji stekla, karakterizacije kontaktnih in nekontaktnih materialov pri razvoju bioloških zdravil in karekizacij anorganskih in organskih delcev v prisotnih v bioloških formul
Lek, d. d.
prof. dr. Miran Čeh

PROJEKT

1. Zunanje storitve (tujina), elektronska mikroskopija in mikroanaliza, priprava vzorcev in mikroskopiranje
prof. dr. Miran Čeh

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Miran Čeh, znanstveni svetnik - vodja centra
2. Podoktorski sodelavci
3. dr. Bor Arah
4. dr. Sandra Drev

Mlajši raziskovalci

4. dr. Andreja Šestan Zavašnik, 20. 3. 2023 razporeditev v odsek F2
5. Aleksander Učakar, mag. inž. metal. in mater.

Strokovni sodelavci

6. Petra Drnovšek, dipl. graf. med. tehn. (VS)
7. dr. Jitka Hreščak, odšla 1. 10. 2023

CENTER ZA PRENOS ZNANJA NA PODROČJU INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJ

CT-3

Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij izvaja izobraževalne, promocijske in infrastrukturne dejavnosti, ki povezujejo raziskovalce in uporabnike njihovih rezultatov. Z uspešnim vključevanjem v evropske raziskovalne projekte se center širi tudi na raziskovalne in razvojne aktivnosti, predvsem s področja upravljanja z znanjem v tradicionalnih, mrežnih in virtualnih organizacijah. Znotraj centra deluje UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prosto dostopne izobraževalne vire, v okviru katere izvajamo raznolike aktivnosti na področju odprtega izobraževanja. Med drugim sodelujemo pri izvedbi magistrskega programa Vodenje in načrtovanje odprtega izobraževanja na Univerzi v Novi Gorici. Tako na šolski kot na državni ravni smo spomladi izvedli 18. tekmovanje ACM iz računalništva in informatike. Ekipa videolectures.net (VLN) je letos sodelovala pri organizaciji več kot dvajsetih odmevnih tujih in domačih dogodkov, kot na primer Extended Semantic Web Conference (ESWC 2023), International Semantic web Conference (ISWC 2023) in International conference on Web Search and Data Mining – (WSDM 2023).



Vodja:

mag. Mitja Jermol

Center se vključuje v številne mednarodne in EU projekte ter projekte v Sloveniji. Leta 2023 smo pod okriljem UNESCO že šestič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet in projekt OER Dinamična koalicija. Uspešno smo izvajali petnajst evropskih projektov, med katerimi so tudi številni projekti iz programa Obzorje Horizon 2020 (H2020): Nancy, A-Cinch, Factlog, Odeuropa, Star in projekti iz Obzorja Horizon Europe (HE): enRichMyData, PREPARE, Plooto, GraphMassivizer, FAME, TWON, AI4Gov, HumAIne in Erasmus+ Bridges in Evropska statistična nagrada.

Znotraj centra deluje UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prosto dostopne izobraževalne vire, v okviru katere izvajamo raznolike aktivnosti na področju odprtega izobraževanja.

Odprto izobraževanje za boljši svet (OE4BW EDUSCOPE 2023) – mednarodni mentorski program

V letu 2023 smo že šestič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet, ki ga vodita UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prosto dostopne izobraževalne vire ter odprto učenje v okviru Instituta "Jožef Stefan" in Univerza v Novi Gorici. Konferenca se je začela 2. junija s predgodkom – delavnico na temo Umetna inteligenca v izobraževanju in vloga ChatGPT. Nato se je 5. junija nadaljevala kot hibridni dogodek, ki je potekal tako osebno na UNG v Vipavi kot prek spleta prek platforme MiTeam. Od 6. do 7. junija pa je konferenca potekala popolnoma na spletu.

Namen OE4BW EDUSCOPE 2023 je bil izmenjati ideje in izkušnje, ustvarjati nove priložnosti za povezovanje ter podpirati raznolikost ciljev, ozadij in kultur, hkrati pa prispevati k izvajanju Unescovega priporočila o odprtih izobraževalnih virih (OER) in obravnavati različne cilje trajnostnega razvoja (SDG).

Na konferenci so sodelovali študenti, strokovnjaki za OER, akademiki, oblikovalci politik, programski uradniki, administratorji in tehnologi s področja izobraževanja ter mednarodnega razvoja. Več kot 200 udeležencev iz različnih sektorjev se je vključilo v intenzivne štiridnevne razprave, ki so osvetlile vlogo odprtega izobraževanja (OE) in ChatGPT, dobre prakse odprte pedagogike, odprto izobraževanje in vključujočo družbo znanja. Obravnavana so bila tudi vprašanja vodenja, jezika, odprtokodna avtorska orodja za OER, tehnologije vizualnih komunikacij in njihova uporaba v izobraževanju. Udeleženci so od strokovnjakov na področju OER pridobili vpogled v to, kako OE uskladiti z razvojnimi in strateškimi cilji.

OER Dinamična koalicija

UNESCO projekt OER Dinamična koalicija (OER Dynamic Coalition) smo začeli izvajati leta 2022. Namen projekta je razvoj platforme, ki bo poleg vsebine in upravljanja znanja ponujala možnosti komunikacije in mreženja. Skladno z načeli UNESCO priporočila o OER bomo na portalu zasledovali odprtost, večjezičnost in dostopnost. Portal bo na enem mestu povezal nacionalne, regionalne in globalne platforme ter mreže in s tem ustvaril dostopno točko

Center se vključuje v številne mednarodne in EU projekte ter projekte v Sloveniji. Leta 2023 smo pod okriljem UNESCO že šestič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet in projekt OER Dinamična koalicija. Uspešno smo izvajali petnajst evropskih projektov, med katerimi so tudi številni projekti iz programa Obzorje Horizon 2020, Horizon Europe in Erasmus +.

za deljenje in promocijo znanja na področju odprtih izobraževalnih virov kot tudi aktivnosti in obstoječe ali nove pobude. Od 1. oktobra je platforma javna in dostopna na spletni strani: <https://oerdynamiccoalition.org/>

AI4Gov – zaupanja vredna umetna inteligenca za pregledno javno upravljanje, ki spodbuja demokratične vrednote

Projekt AI4Gov programa Obzorje Evropa je namenjen raziskovanju možnosti tehnologij umetne inteligence (UI) in velikih podatkov za razvoj na dokazih temelječih inovacij, politik in političnih priporočil za izkoriščanje javne sfere, politične moči in gospodarske moči v demokratične namene. Namen projekta je prispevati k raziskovalnemu prostoru, ki obravnava vprašanja etike, zaupanja, diskriminacije in pristranskosti, ter zagotoviti rešitve za izzive, s katerimi se soočajo deležniki v sodobnih demokracijah. CT3 vodi delovni sklop Usposabljanje državljanov za ozaveščanje in spreminjanje ter prispeva k aktivnostim projekta pri komuniciranju, razširjanju in uporabi rezultatov projekta. Sodelujemo z E3, ki razvija virtualno ogrodje za nepristranskost.

FAME – federativna decentralizirana zaupanja vredna podatkovna tržnica za finance

Glavni cilj projekta programa Obzorje Evropa FAME je razviti, integrirati, potrditi in kot javno dostopno storitev ponuditi prvo evropsko zvezno, decentralizirano, zaupanja vredno in energetsko učinkovito tržišče podatkovnih sredstev za EmFi. CT3 sodeluje pri programih usposabljanja, razširjanju in izkoriščanju raziskovalnih rezultatov, prav tako pa sodeluje z E3, ki razvija tehnike za razločljivo in zaupanja vredno umetno inteligenco.

Erasmus+: Bridges

Kot partnerji smo sodelovali pri projektu Bridges, *Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko*, ki je projekt Erasmus +. V okviru projekta smo izvedli raziskovalne intervjuje s pedagogi na področju visokošolskega izobraževanja o potrebah dodatnega usposabljanja s področja odprtega izobraževanja in izobraževanja na daljavo. Skupaj s partnerji smo pripravili sklop izobraževalnih videovsebin, pri čemer je sodelovala ekipa Videolectures.NET. Udeležili smo se zaključne konference, ki so jo organizirali partnerji Future Education Institute iz Modene, Italija.

Evropska statistična nagrada

Skupaj z Laboratorijem za umetno inteligenco (E3) smo leta 2023 sodelovali pri izvedbi sklopa tekmovanj s področja napovedovanja trenutnih dogodkov (nowcasting) in spletne inteligence (web intelligence), pri čemer skrbimo za promocijo in vizualno podobo obeh tekmovanj. Glavni cilj je odkriti obetavne metodologije in vire podatkov, ki bi jih lahko uporabili za izboljšanje priprave evropske statistike. Novi pristopi, ki temeljijo na naprednem modeliranju (po možnosti z uporabo alternativnih informacij, skoraj v realnem času), imajo velik potencial, da nam dajo natančne ocene ključnih kazalnikov veliko hitreje kot v preteklosti. V okviru programa, ki bo trajal do konca leta 2025, smo v letu 2023 izvedli še eno tekmovanje s področja napovedovanja trenutnih dogodkov (nowcasting) s področja energetskih izzivov in eno tekmovanje s področja spletne inteligence s področja klasifikacije poklicev za spletne zaposlitvene oglase (web intelligence).

Projekt PREPARE

Projekt PREPARE (ang. Personalized rehabilitation via novel AI patient stratification strategies) programa Obzorje Evropa je osredotočen na medicinsko rehabilitacijo in umetno inteligenco. Zagotavljanje rehabilitacijske oskrbe za bolnike s kroničnimi nenalezljivimi boleznimi je lahko izjemno zapleteno in zahtevno. Zaradi zelo personalizirane narave stanja vsakega bolnika so orodja za napovedovanje in stratifikacijo bolnikov nezanesljiva. Kljub prizadevanjem z uporabo velikih količin podatkov obstoječe podatkovne zbirke pogosto povzročajo nove izzive. Cilj projekta PREPARE je obravnavati te izzive s kombinacijo inovativnih kliničnih, socialno-vedenjskih in javnozdravstvenih raziskav v povezavi z naprednimi metodami umetne inteligence in podatkovne znanosti. Poleg tega bodo nabori podatkov o bolnikih uporabljeni za stratifikacijo bolnikov in opredelitev novih napovednih dejavnikov za izide rehabilitacije. CT3 sodeluje pri dejavnostih komuniciranja, razširjanja in uporabe znanstvenih rezultatov ter sodeluje z E3, ki razvija orodja za pretvorbo in združevanje nestrukturiranih in strukturiranih zdravstvenih podatkov.

Znanstvena konferenca o sindromu Kleefstra 2023

Projekt iz programa EJP RD z naslovom *Znanstvena konferenca o sindromu Kleefstra 2023: Približevanje uvajanju in uporabi umetne inteligence pri raziskovalnem in kliničnem delu* je bil aktiven od februarja do avgusta 2023. Glavni cilj te podporne sheme za mreženje je bil povezati strokovnjake, ki se ukvarjajo s sindromom Kleefstra, redko genetsko motnjo, na eni strani ter strokovnjake za umetno inteligenco, strojno učenje in podatkovno znanost na drugi, da bi začeli oblikovati nove interdisciplinarne skupine in raziskave. Konferenčni dogodek je združil zagovornike bolnikov s sindromom Kleefstra, zdravnike in raziskovalce z različnih področij, ki imajo skupni

interes: deliti nove raziskovalne ugotovitve, povezane s sindromom Kleefstra, ki bodo skupnost Kleefstra vodile k optimizaciji trenutne oskrbe ter k odkrivanju zdravljenja in ozdravitve sindroma Kleefstra. Poseben poudarek je bil namenjen umetni inteligenci, ki je na splošno za področje redkih bolezni še vedno nekaj novega, vendar ima lahko ključno vlogo zlasti pri skrajševanju časa, potrebnega za nova raziskovalna spoznanja.

Projekt Plooto: Zeleni, digitalni in krožni prehod za bolj trajnostno prihodnost

Projekt Plooto združuje 20 partnerjev iz osmih različnih držav, ki s svojimi strokovnimi znanji in izkušnjami prispevajo k razvoju inovativnih rešitev za bolj trajnostno gospodarstvo. Namen projekta Plooto je izdelati informacijski sistem za podporo proizvajalcem pri njihovem zelenem, digitalnem in krožnem prehodu. Plooto se osredotoča na ponovno uporabo in recikliranje materialov ter želi izboljšati ravnanje z odpadki.

Informacijski sistem, ki ga razvijamo, bo omogočil zmanjšanje količine odpadkov in sledljivost sekundarnih surovin po celotni dobavni verigi prek medsebojno povezanih digitalnih storitev. Omogočal bo tudi sprejemanje odločitev v realnem času ter spremljanje in certificiranje materialov in izdelkov.

Rešitev, ki jo razvijamo, se pilotno preizkuša v treh različnih krožnih dobavnih verigah. V pilotnih projektih bomo tako preverili, ali je s pomočjo informacijskega sistema, ki ga razvijamo, mogoče omogočiti zmanjšanje odpadkov, ponovno uporabnost proizvodnih ostankov in proizvodnih stranskih proizvodov ter vpeljati operativne izboljšave pri proizvodnem procesu.

ACM tekmovanje iz računalništva in informatike

Leta 2023 smo izvedli 18. tekmovanja ACM iz računalništva in informatike. Tekmovanje je potekalo dvostopenjsko, na šolski in državni ravni. Šolsko tekmovanje je organiziralo 31 srednjih šol, zavodov in gimnazij ter vključilo 251 dijakov in dijakinj. Državno tekmovanje, ki je potekalo marca 2023, smo izvedli v prostorih Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. V panogi programiranje je v treh težavnostnih skupinah tekmovalo 120 srednješolcev, v panogi izdelava spletnih aplikacij je tekmovalo 9 dijakov, izziv v off-line nalogi so sprejeli 4 tekmovalci. V izdelavi izobraževalnih videoposnetkov je bila letos močna konkurenca med devetnajstimi srednješolskimi prispevki, kjer zmagovalni video nosi naslov: Zakaj se staramo? V letu 2023 smo poskusno izvedli tekmovanje v programiranju z imenom Mladi RTK, kamor se je vključilo 20 osnovnošolcev. Tekmovali so v dveh težavnostnih skupinah. V panogi programiranje smo podelili 48 srebrnih in 7 zlatih priznanj, medtem ko smo na šolskih tekmovanjih, ki so potekala januarja po šolah, podelili 84 bronastih priznanj. Kot vsako leto smo tudi tokrat najboljšim tekmovalcem v vsaki panogi podelili praktične nagrade.

Rezultati celotnega tekmovanja so dostopni na spletnem naslovu: <https://rtk.ijs.si/2023/rezultati.html#offline>

Videolectures.net (VLN)

Videolectures.net (VLN) trenutno ponuja skoraj 31.000 posnetkov različnih znanstvenih dogodkov. Glavni namen videoportala je zagotoviti brezplačna in odprto dostopna videopredavanja uglednih znanstvenikov in strokovnjakov z najbolj aktualnih dogodkov. Videolectures.net predstavlja brezplačno središče znanja s spletnim izobraževanjem, dostopnim vsem. Cilj VLN je deliti izobraževalne vsebine in promovirati znanost ter občinstvu omogočiti učenje in globalno povezovanje.

Leta 2023 smo sodelovali z več kot 20 slovenskimi institucijami iz javnega in zasebnega sektorja, ki smo jim nudili tehnično podporo in pomoč pri organizaciji dogodkov. V tujini in doma smo sodelovali z organizatorji številnih priznanih konferenc, ki so bile večinoma izpeljane v hibridni obliki – na fizični lokaciji in na spletu. Od ustvarjanja promocijskih videoposnetkov, učnih gradiv, delavnic, intervjujev do projektov razširjanja EU smo omogočili številne dogodke o več kot 30 najbolj aktualnih in za naše uporabnike najbolj zanimivih temah. Od snemanja na fizičnih lokacijah do zagotavljanja tehnične podpore številnim organizatorjem dogodkov smo sodelovali prek platform, kot so Zoom, YouTube ipd. Upoštevajoč tehnične smernice in najbolj aktualne tematike smo objavili številne mednarodne in državne konference ter dogodke, za katere smo zagotovili tudi ustrezna soglasja in omogočili zanesljivost pripravljenih videovsebin.

Nekateri izmed najodmevnejših dogodkov, ki smo jih izpeljali in objavili v letu 2023, so bili: ESWC 2023 – Extended Semantic Web Conference, ISWC 2023 – International Semantic Web Conference, WSDM 2023 – International conference on Web Search and Data Mining, KDD 2023 – International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Euralex 2023, Simpozij slovenskih raziskovalcev, Presečišče med etiko, integriteto in enakostjo spolov, Misije: novost programa Obzorje Evropa, 8. Maraton pozitivne psihologije, Mariborski maraton pozitivne psihologije, Šola za starše, sklop predavanj znotraj projekta Znanost na cesti itd.

Sodelovali smo tudi s številnimi prepoznavnimi domačimi in tujimi institucijami, kot so:

- Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
- Društvo doktorskih študentov in raziskovalcev na začetku kariere – Mlada akademija
- Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani

- Kemijski inštitut
- Nacionalni inštitut za biologijo
- Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
- Univerza v Novi Gorici
- Skupina Primera in
- organizatorji zgoraj omenjenih tujih odmevnih dogodkov

Interno smo posneli večjo konferenco ESSAI, ACAI, ki je potekala decembra 2023, in kot vsako leto v živo prenašali dogodke ob 32. Dnevh Jožefa Stefana.

Nadaljevali smo tudi sodelovanje pri evropskih projektih, kot sta Erasmus+ Bridges, ter gojili dolgoročno partnerstva s Fakulteto za arhitekturo Univerze v Ljubljani, Univerzo v Novi Gorici, prenašali serijo predavanj Znanost na cesti, Pozitivna psihologija ter predavanja za šole in starše. Začeli smo snemati literarne večere s knjižnicami po Sloveniji ter nadaljevali snemanje dogodkov na Inštitutu za biologijo in Kemijskem inštitutu v Ljubljani.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERASMUS+: BRIDGES - Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko
Agencija nazionale Erasmus+ INDIRE
mag. Anja Polajnar
2. H2020 - INFINITECH; Prikrojena testna okolja in peskovniki interneta stvari in masovnih podatkov za pametne, avtonomne in prilagojene storitve v evropskem ekosistemu finančnih in zavarovalniških storitev
European Commission
mag. Mitja Jermol
3. H2020 - FACTLOG; Energetsko ozaveščena tovarniška analitika za procesno industrijo
European Commission
mag. Mitja Jermol
4. H2020 - A-CINCH; Razširjeno sodelovanje pri izobraževanju in usposabljanju na področju jedrske in radiokemije
European Commission
Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)
5. H2020 - STAR; Varna zaupanja vredna in na človeka osredotočena umetna inteligenca v proizvodnih linijah prihodnosti
European Commission
mag. Mitja Jermol
6. H2020 - ODEUROPA; Uveljavitev olfaktornih in senzoričnih izkušenj v raziskavah kulturne dediščine
European Commission
mag. Mitja Jermol
7. OE - Graph-Massivizer; Ekstremna in trajnostna obdelava grafov za nujne družbene izzive v Evropi
European Commission
mag. Mitja Jermol
8. OE - Plooto; Virtualni potni list izdelkov v digitalnem dvojčku krožnih vrednostnih verig
European Commission
mag. Mitja Jermol
9. OE - Ai4Gov; Zaupanja vredna umetna inteligenca za transparentno javno upravljanje, ki vzpodbuja demokratične vrednote
European Commission
mag. Mitja Jermol
10. OE - FAME; Zvezna, decentralizirana in zaupanja vredna podatkovna tržnica za področje financ
European Commission
mag. Mitja Jermol

11. OE - TWON; Dvojček spletnih družbenih omrežij
European Commission
mag. Mitja Jermol
12. OE - PREPARE; Personalizirana rehabilitacija z novimi strategijami stratifikacije bolnikov z umetno inteligenco
European Commission
dr. Tanja Zdolšek Draksler
13. OE - HumAlne; Podpora sodelovanju med človekom in umetno inteligenco pri hibridnem odločanju za izboljšano človekovo opolnomočenje v dinamičnih situacijah
European Commission
mag. Mitja Jermol
14. Dynamic Coalition; Portal dinamične koalicije OER
UNESCO
mag. Mitja Jermol

PROJEKTI

1. Študenti UL v delovnem okolju
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
dr. Matej Kovačič
2. OE4BW - Mednarodni mentorski program, Urad za UNESCO
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
mag. Mitja Jermol
3. Snemanje predavanj in obdelava podatkov
mag. Mitja Jermol
4. Organizacija tekmovanja za Evropsko statistično nagrado za spletno inteligenco - LOT 1
European Commission
mag. Anja Polajnar
5. Upravljanje evropskih statističnih nagrad za napovedovanje trenutkov - LOT 2
European Commission
mag. Anja Polajnar
6. TIDES: Connect AI
Tides Foundation
mag. Mitja Jermol
7. Organizacija konference za Kleefstra sindrom 2023
ZonMw - ZorgOnderzoek Nederland
dr. Tanja Zdolšek Draksler

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Ana Fabjan, udeležba na Eduscope konferenci, Vipava, Slovenija, 2. 6. 2023
2. Mitja Jermol, sestanki na Mestni občini Maribor, Maribor, Slovenija, 11. 1. 2023
3. Mitja Jermol, udeležba na okrogli mizi Identify opportunities for policymaking in the field of olfactory heritage - EU H2020 projekta Odeuropa, Pariz, Francija, 22.-24. 1. 2023
4. Mitja Jermol, predavanje na Univerzi v Novi Gorici, Vipava, Slovenija, 19. 4. 2023
5. Mitja Jermol, udeležba na sestanku HE projekta Plooto, Barcelona, Španija, 3.-5. 5. 2023
6. Mitja Jermol, sestanek v zvezi s pripravo projektnega predloga za Horizon Europe in sodelovanje, Priština, Kosovo, 21.-23. 6. 2023

7. Mitja Jermol, udeležba Strateški dnevi IJS 2023, Portorož, Slovenija, 7. 11. 2023
8. Matej Kovačič, projektni sestanek AI4GOV, Atene, Grčija, 19.-22. 2. 2023
9. Matej Kovačič, udeležba na pilotnem sestanku EU projekta Plooto, Nafplio, Grčija, 25.-27. 5. 2023
10. Matej Kovačič, predstavitev projekta MyMachine na odprti razstavi, Ajdovščina, Slovenija, 21. 9. 2023
11. Matej Kovačič, Plooto konzorcijski sestanek, Chania, Grčija, 2.-5. 10. 2023
12. Matej Kovačič, udeležba na projektnem sestanku, Limassol, Ciper, 6.-9. 11. 2023
13. Adis Krečo, snemanje za projekt A-Cinch, Dol pri Ljubljani, Slovenija, 13.-14. 2. 2023
14. Adis Krečo, snemanje ASEF, Prešernova dvorana, Ljubljana, Slovenija, 16. 2. 2023
15. Adis Krečo, snemanje za potrebe projekta A CINCH, Dol pri Ljubljani, Slovenija, 21. 2. 2023
16. Adis Krečo, snemanje dogodka za Tovarne prihodnosti, Ljubljana, Slovenija, 22. 2. 2023
17. Adis Krečo, snemanje Znanstveni večer za potrebe UNG, Vipava, Slovenija, 23. 2. 2023
18. Adis Krečo, snemanje predstavitve projekta SMASH, Vipava, Slovenija, 24. 2. 2023

19. Adis Krečo, snemanje predavanja za NIB, Ljubljana, Slovenija, 28. 2. 2023
20. Adis Krečo, snemanje maratona iz Cikla pozitivne psihologije, Nova Gorica, Slovenija, 11. 3. 2023
21. Adis Krečo, snemanje konference ISO FOOD, Portorož, Slovenija, 23.–26. 4. 2023
22. Adis Krečo, snemanje dogodka EIT manufacturing info dan, Ljubljana, Slovenija, 12. 5. 2023
23. Adis Krečo, snemanje EUSDR konference, Brdo pri Kranju, Slovenija, 17. 5. 2023
24. Adis Krečo, snemanje konference Kleefstra Syndrome Scientific Conference 2023, Define Europe, Ljubljana, Slovenija, 1.–2. 6. 2023
25. Adis Krečo, snemanje predavanja iz sklopa JOTA, Ljubljana, Slovenija, 5. 6. 2023
26. Adis Krečo, snemanje predavanj iz Cikla pozitivne psihologije, Brdo pri Kranju, Slovenija, 13. 9. 2023
27. Adis Krečo, snemanje Šola za starše, Ljubljana, Slovenija, 19.–21. 10. 2023
28. Adis Krečo, snemanje konference ISWC 2023, Atene, Grčija, 6.–11. 11. 2023
29. Adis Krečo, snemanje konference ASEF, Ljubljana, Slovenija, 13.–15. 11. 2023
30. Adis Krečo, snemanje Maratona pozitivne psihologije, Maribor, Slovenija, 18. 11. 2023
31. Adis Krečo, snemanje delavnice Qlector, Ljubljana, Slovenija, 5. 12. 2023
32. Adis Krečo, snemanje dogodka Innovation day Ljubljana, Ljubljana, Slovenija, 6. 12. 2023
33. Adis Krečo, snemanje na UNG, Vipava, Slovenija, 20. 12. 2023
34. Monika Kroje, organizacija konference ASEF, Ljubljana, Škofja Loka, Slovenija, 13.–15. 11. 2023
35. Simon Marolt, Matija Ovsenek, Udeležba na konferenci Mobility for Educators and Youth Workers, Atene, Grčija, 23.–30. 1. 2023
36. Simon Marolt, snemanje dogodka, Ljubljana, Slovenija, 14. 2. 2023
37. Simon Marolt, snemanje dogodka na NIB, Ljubljana, Slovenija, 16. 2. 2023
38. Simon Marolt, Matija Ovsenek, snemanje konference 16th Web search and data mining-WSDM, Singapur, 24. 2. 2023–6. 3. 2023
39. Simon Marolt, snemanje dogodka Retrotranspozoni: Trojanski konji naših genov, Ljubljana, Slovenija, 14. 3. 2023
40. Simon Marolt, tehnična podpora in snemanje hibridnega dogodka Cilji trajnostnega razvoja: med utopijo in realnostjo II, Ljubljana, Slovenija, 15. 3. 2023
41. Simon Marolt, snemanje in prenos v živo dogodka *Posvet platforme znanja*, Ljubljana, Slovenija, 20. 3. 2023
42. Simon Marolt, snemanje predavanja ZNC: Pogovor: Dvodimenzionalni materiali in organski polprevodniki: nov pogled na stare znanice, Vipava, Slovenija, 23. 3. 2023
43. Simon Marolt, tehnična podpora in snemanje dogodka Kako nasloviti enakost spolov in vključenost v prijavo projektnega predloga programa Obzorja Evropa?, Ljubljana, Slovenija, 29. 3. 2023
44. Simon Marolt, snemanje ZNC: Prehrana v prvih 8000 dneh življenja – zakaj se o tem pogovarjati in kaj to sploh pomeni?, Kranj, Slovenija, 13. 4. 2023
45. Simon Marolt, snemanje in tehnična podpora dogodka Misije: novost programa Obzorje Evropa, Ljubljana, Slovenija, 21. 4. 2023
46. Simon Marolt, snemanje konference ISO FOOD, Portorož, Slovenija, 23.–26. 4. 2023
47. Simon Marolt, snemanje znanstvenega večera, Vipava, Slovenija, 12. 5. 2023
48. Simon Marolt, snemanje dogodka AI4GOV Training workshop: bias in AI, Ljubljana, Slovenija, 16. 5. 2023
49. Simon Marolt, snemanje ESWC 2023, Hersonissos, Grčija, 26. 5. 2023–2. 6. 2023
50. Simon Marolt, snemanje ESSAI & ACAI konference, Večna pot 113, Ljubljana, Slovenija, 24.–28. 7. 2023
51. Simon Marolt, snemanje konference KDD 2023, Long Beach, Kalifornija, ZDA, 4.–12. 8. 2023
52. Simon Marolt, postavitve snemalne opreme za snemanje Cikla predavanj iz pozitivne psihologije, Brdo pri Kranju, Slovenija, 12. 9. 2023
53. Simon Marolt, snemanje dogodka Mladinske knjige Srečanje z navdihovalci, Ljubljana, Slovenija, 20. 9. 2023
54. Simon Marolt, snemanje Pogovor z Ivom Boscarolom, Vipava, Slovenija, 11. 10. 2023
55. Simon Marolt, snemanje dogodka Mlada Akademija: Ali je doktorat prava odločitev zame, Ljubljana, Slovenija, 7.–8. 11. 2023
56. Simon Marolt, snemanje konference ASEF, Ljubljana, Slovenija, 13.–15. 11. 2023
57. Simon Marolt, snemanje delavnice Synergies workshop: From theory to practice, Ljubljana, Slovenija, 28. 11. 2023
58. Simon Marolt, snemanje dogodka Vesolje skozi ženske oči – od prvih astronomk do prve Nobelove nagrade za astronomko, Nova Gorica, Slovenija, 29. 11. 2023
59. Simon Marolt, snemanje seminarja Digitalizacija tal kmetijskih zemljišč, Ljubljana, Slovenija, 30. 11. 2023
60. Matija Ovsenek, sestanki za sporazum o sodelovanju – snemanju vsebin za portal Videlectures.net, Atene, Grčija, 13. 3. 2023–17. 3. 2023
61. Matija Ovsenek, snemanje ZNC Od snega do morja s fiziko, Izola, Slovenija, 4. 4. 2023
62. Matija Ovsenek, tehnični ogled za snemanje EUSDR konference, Brdo pri Kranju, Slovenija, 12. 5. 2023
63. Matija Ovsenek, snemanje EUSDR konference, Brdo pri Kranju, Slovenija, 17. 5. 2023–18. 5. 2023
64. Matija Ovsenek, snemanje ESWC 2023, Hersonissos, Grčija, 26. 5. 2023–6. 6. 2023
65. Matija Ovsenek, tehnični ogled prostorov za izvedbo konference KDD 2023, Long Beach, Kalifornija, ZDA, 17. 7. 2023–23. 7. 2023
66. Matija Ovsenek, snemanje ESSAI & ACAI konference, Večna pot 113, Ljubljana, Slovenija, 24. 7. 2023–28. 7. 2023
67. Matija Ovsenek, snemanje konference KDD 2023, Long Beach, Kalifornija, ZDA, 4.–19. 8. 2023
68. Matija Ovsenek, snemanje in udeležba na sestanku za projektu Erasmus + Bridges, Modena, Italija, 6.–9. 9. 2023
69. Matija Ovsenek, snemanje izjav za pripravo promo filma za EU projekt Foodtranet_FishEUTrast, Dunaj, Avstrija, 17. 9. 2023–19. 9. 2023
70. Matija Ovsenek, snemanje konference ISWC 2023, Atene, Grčija, 6. 11. 2023–11. 11. 2023
71. Matija Ovsenek, priprava na dogodek, snemanje in prenos v živo Simpozij slovenskih raziskovalcev v tujini, Ljubljana, Slovenija, 18.–21. 12. 2023
72. Anja Polajnar, udeležba na sestanku za projekt Erasmus+ Bridges, Modena, Italija, 6.–9. 9. 2023
73. Iztok Renčelj, udeležba na sestanku HE projekta Plooto, Barcelona, Španija, 3.–5. 5. 2023
74. Iztok Renčelj, sestanek v zvezi s pripravo projektnega predloga za Horizon Europe in sodelovanje, Priština, Kosovo, 21.–23. 6. 2023
75. Iztok Renčelj, udeležba na delovnem sestanku projekta Plooto na temo izvedbe tretjega pilota projekta, Ascoli Piceno, Italija, 28. 6. 2023–1. 7. 2023
76. Iztok Renčelj, srečanje s partnerji in konzorcijski sestanek EU projekta PLOOTO, Chania, Grčija, 27. 9. 2023–5. 10. 2023
77. Iztok Renčelj, udeležba na sestanku, Šoštanj, Slovenija, 7. 11. 2023
78. Kim Sevsšek, udeležba na konferenci Mobility for Educators and Youth Workers, Atene, Grčija, 23.–30. 1. 2023
79. Špela Sitar, udeležba na Eduscope konferenci, Vipava, Slovenija, 5. 6. 2023
80. Špela Sitar, organizacija konference ASEF, Ljubljana, Slovenija, 13.–15. 11. 2023
81. Tanja Zdošek Draksler, projektni sestanek AI4GOV, Atene, Grčija, 19.–22. 2. 2023
82. Tanja Zdošek Draksler, organizacija in izvedba projektna delavnice AI4Gov, Ljubljana, Slovenija, 16. 5. 2023
83. Tanja Zdošek Draksler, izvedba sestanka EU projekta AI4GOV, Ljubljana, Slovenija, 17.–18. 5. 2023
84. Tanja Zdošek Draksler, udeležba na Kick off sestanku projekta PREPARE, Rotterdam, Nizozemska, 3.–6. 7. 2023
85. Tanja Zdošek Draksler, udeležba na projektnem sestanku, Limassol, Ciper, 6.–9. 11. 2023
86. Tanja Zdošek Draksler, predavanje na dogodku Zdravstvena pismenost, Ljubljana, Slovenija, 16. 11. 2023
87. Tanja Zdošek Draksler, udeležba na dogodku ERN ITHACA Patient workshop and Board Meeting, Dublin, Irska, 6.–9. 12. 2023

SODELAVCI

Mlajši raziskovalci

1. Anja Polajnar, mag. znanosti

Strokovni sodelavci

2. **mag. Mitja Jermol, vodja samostojnega centra**

3. dr. Matej Kovačič
4. Simon Marolt, inž. mep.
5. dr. Gregor Potočnik*
6. Iztok Renčelj, dipl. inž. el. (VS)
7. dr. Tanja Zdošek Draksler

Tehniški in administrativni sodelavci

8. Aleš Buh
9. Ana Fabjan, dipl. multimed. prod. (VS)
10. Adis Krečo, prof. fil. in soc.
11. Monika Kroje, univ. dipl. kult.
12. Matija Ovsenek
13. *Kim Sevsšek, dipl. org. (UN), odšla 1. 3. 2023*
14. Špela Sitar, univ. dipl. inž. živ. tehnol.
15. Martina Vilhar, univ. dipl. ital. in hisp.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. ACM Slovenija, Ljubljana, Slovenija
2. Association for Computing Machinery, New York, ZDA
3. IEEE Slovenija, Ljubljana, Slovenija
4. Javna Agencija za raziskovalno dejavnost RS, Ljubljana, Slovenija
5. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
6. Muzej za arhitekturo in oblikovanje, Ljubljana, Slovenija
7. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
8. Prirodoslovni muzej Slovenije, Ljubljana, Slovenija
9. Pošta Slovenije, Maribor, Slovenija
10. Partnerski konzorcij pri projektu INFINITECH
11. Partnerski konzorcij pri projektu FACTLOG
12. Partnerski konzorcij pri projektu A-CINCH
13. Partnerski konzorcij pri projektu STAR
14. Partnerski konzorcij pri projektu ODEUROPA
15. Partnerski konzorcij pri projektu NANCY
16. Partnerski konzorcij pri projektu BRIDGES
17. Partnerski konzorcij pri projektu enRichMyData
18. Partnerski konzorcij pri projektu PREPARE
19. Partnerski konzorcij pri projektu Plooto

20. Partnerski konzorcij pri projektu Graph-Massivizer
21. Partnerski konzorcij pri projektu FAME
22. Partnerski konzorcij pri projektu TWON
23. Partnerski konzorcij pri projektu AI4Gov
24. Partnerski konzorcij pri projektu HumAlne
25. Slovensko akademjsko tehniško naravoslovno društvo Satena
26. Stanford University, Stanford, ZDA
27. The United Nations, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Pariz, Francija
28. University College London, London, VB
29. Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Koper, Slovenija
30. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
31. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
32. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
33. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
34. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
35. Univerza v Novi Gorici, Slovenija
36. U.S. Embassy Ljubljana, Slovenija

IZOBRAŽEVALNI CENTER ZA JEDRSKO TEHNOLOGIJO MILANA ČOPIČA ICJT

Poslanstvo Izobraževalnega centra za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT) je izobraževanje o jedrskih tehnologijah in varstvu pred sevanji ter informiranje javnosti na tem področju.

Leto 2023 je bilo eno od pomembnejših za ICJT, saj je bil zaključen projekt celovite prenove informacijskega centra. Več kot dvajset let stara podoba centra je bila zamenjana za novo in moderno različico, posodobljeno tudi vsebinsko z novimi interaktivnimi eksponati in preprostim simulatorjem delovanja jedrske elektrarne Krško.

Usposabljanje na področju jedrskih tehnologij je naša primarna dejavnost. Tečaj Tehnologija jedrskih elektrarn (TJE) je začetek usposabljanja bodočih operaterjev jedrske elektrarne Krško. Tudi na tem področju je bilo leto 2023 pomembno, saj sta prvič v zgodovini potekala dva tečaja TJE vzporedno. Začela sta se oktobra in decembra, končala pa se bosta v letu 2024. V prvi polovici leta smo izvedli tudi dva tečaja Osnove tehnologije jedrskih elektrarn (OTJE). Prvi je potekal januarja in februarja ter drugi maja in junija. Poleg teh, že uveljavljenih tečajev, smo imeli še dva tečaja JEK (Jedrska energija na kratko) za netehnično osebje jedrske elektrarne Krško. Za NEK smo v sodelovanju z Odsekom za reaktorsko fiziko izvedli tudi dva enodnevna tečaja na temo jedrskega goriva.

Na področju varstva pred sevanji smo izvedli skupno 28 tečajev za medicinsko, industrijsko in raziskovalno uporabo virov ionizirajočega sevanja.

V sodelovanju z Odsekom za reaktorsko fiziko in z Reaktorskim infrastrukturnim centrom smo organizirali šest mednarodnih tečajev.

Informiranje javnosti ostaja zelo pomemben del naših dejavnosti. Poslušalci so lahko izbirali med predavanji o elektriki iz jedrske elektrarne, virih elektrike v Sloveniji, o fuziji, o izotopih, o energiji na splošno, o uporabi sevanj v industriji, medicini in znanosti ter o varnosti jedrskih elektrarn. V letu 2023 smo dodali še predavanje o nizkoogljivih virih energije. Za otroke nižjih razredov osnovne šole je na voljo delavnica o energiji. Leto 2023 nas je obiskalo 157 skupin s skupno 6.182 udeleženci. Od leta 1993 si je naš informacijski center ogledalo 202.889 učencev, študentov, učiteljev in drugih obiskovalcev. Nadaljevali smo tudi s spremljanjem in analizo medijskih objav o jedrski energiji.



Vodja:
dr. Igor Jenčič

Leta 2023 je ICJT prvič v zgodovini vzporedno organiziral dva tečaja Tehnologija jedrskih elektrarn (TJE).



Slika 1: Tečajniki v predavalnici na tečaju Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, januar 2023



Slika 2: Praktične vaje na tečaju Osnove tehnologije jedrskih elektrarn

Tečaji v Izobraževalnem centru za jedrsko tehnologijo v letu 2023

Datum	Naslov tečaja	Število udeležencev	Število predavateljev	Tednov	Tečajnik tednov
9. 1.–7. 2.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, teorija	17	14	4,4	74,8
11. 1.–2. 2.	Hands-on activities in the framework of the International Master's track Experiments: Neutron flux mapping, Primary water activation, calorimetry	6	11	0,8	4,8
26.–27. 1.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije – obnovitev	5	2	0,4	2
9. 2.–3. 3.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, sistemi	21	8	3,4	71,4
13.–15. 2.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošilk	9	2	0,4	3,6
6.–8. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč	2	4	0,6	1,2
6.–10. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije	2	4	1	2
6.–8. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije	9	4	0,6	5,4
13. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in drugih dejavnosti	10	4	0,2	2
13. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošilk	3	4	0,2	0,6
13.–14. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda	1	5	0,4	0,4
13.–16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje nuklearne medicine	8	7	0,8	6,4
16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošilk – obnovitev	5	2	0,2	1
16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč – obnovitev	3	2	0,2	0,6
16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti – obnovitev	15	2	0,2	3
16.–17. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije – obnovitev	3	2	0,4	1,2
16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda – obnovitev	5	3	0,2	1
16. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije – obnovitev	4	2	0,2	0,8
17.–19. 4.	Jedrska energija na kratko	17	5	0,6	10,2
3. 5.–2. 6.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, teorija	6	14	4,6	27,6
29. 5.–2. 6.	Regional Workshop on Nuclear and Radiation Education	36	2	0,8	28,8
5.–28. 6.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, sistemi	5	8	3,6	18
18.–20. 9.	Jedrska energija na kratko	17	5	0,6	10,2
25.–29. 9.	Uppsala University Dedicated Practical Educational Course Experimental reactor physics	9	6	1	9
25.–27. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije	1	4	0,6	0,6
25.–29. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije	3	4	1	3

Tečaji v Izobraževalnem centru za jedrsko tehnologijo v letu 2023

Datum	Naslov tečaja	Število udeležencev	Število predavateljev	Tednov	Tečajnik tednov
25.-27. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč	3	4	0,6	1,8
2. 10.-5. 3. 2024	Tehnologija jedrskih elektrarn – teorija	20	16	12	240
2. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	11	4	0,2	2,2
2.-5. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za delavce, izpostavljene radonu in toronu	1	4	0,2	0,2
2. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošilk	9	4	0,2	1,8
2.-3. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda	3	5	0,4	1,2
5. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda – obnovitev	4	3	0,2	0,8
5. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti – obnovitev	6	2	0,2	1,2
5.-6. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije – obnovitev	1	2	0,4	0,4
5. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije – obnovitev	1	2	0,2	0,2
5. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč – obnovitev	1	2	0,2	0,2
16. 10.-3. 11.	18 th EERRI Research Reactor Group Fellowship Training Course	8	10	2,6	20,8
17. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	9	2	0,2	1,8
10. 11.	Pulse experiment exercise for students	30	6	0,2	6
4.-7. 12.	Fundamentals of neutron detection	11	13	1	11
11.12.-10. 5. 2024	Tehnologija jedrskih elektrarn – Teorija	12	14	2	24
15. 12.	Posodobitev algoritma interpolacije in ekstrapolacije v programu FAR	5	2	0,2	1
20. 12.	Analiza spremljanja obratovanja NEK v ciklu 31 in 32	4	1	0,2	0,8
Skupaj		361	226	48,8	881,0



Slika 3: Delavnica o energiji za predšolske otroke, april 2023



Slika 4: Dan odprtih vrat IJS – na razstavi o jedrski tehnologiji v ICJT, marec 2023

PROJEKTI

1. Izvajanje programa ICJT
dr. Igor Jenčič
2. Izobraževanje s področja energetike in jedrske energetike v osrednji Sloveniji
dr. Igor Jenčič

3. Izvedba tečajev varstva pred sevanji
mag. Matejka Južnik
4. Izvedba tečajev TJE in OTJE
dr. Igor Jenčič

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Tomaž Skobe; udeležba na mednarodni delavnici IAEA Regional Workshop on the Development of Outlines of Train-the-Trainers Programme for University Educators in Nuclear Science and Technology (S&T), Ankara, Turčija, 4.–8. 9. 2023

2. Igor Jenčič, Urban Pompe, Tomaž Skobe, Vesna Slapar Borišek; udeležba na konferenci 32nd International Conference Nuclear Energy for New Europe, Portorož, Slovenija, 11.–14. 9. 2023 (3)
3. Marjan Tkavc; udeležba na tečaju IAEA Train-the-Trainers Regional Training Course for Radiation Protection Officers, Nikozija, Ciper, 26. 11.–2. 12. 2023
4. Tomaž Skobe; udeležba na mednarodni delavnici IAEA Regional Workshop on Nuclear and Radiation Education and Training, Lizbona, Portugalska, 4.–7. 12. 2023

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **dr. Igor Jenčič, vodja centra**

Strokovni sodelavci

2. *mag. Matjaž Koželj, predavatelj svetnik ICJT, upokojitev 1. 7. 2023*
3. Gabi Novak, mag. prof. fiz.
4. Urban Pompe, univ. dipl. fiz.
5. mag. Tomaž Skobe, predavatelj svetnik ICJT
6. Vesna Slapar Borišek, univ. dipl. fiz., vodilni predavatelj ICJT
7. mag. Marjan Tkavc

Tehniški in administrativni sodelavci

8. Saša Bobič
9. mag. Matejka Južnik
10. *Borut Mavec, viš. uprav. del., upokojitev 1. 9. 2023*
11. Marko Videčnik

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aix-Marseille Université, Marseille, Francija
2. Gen energija, d. o. o., Krško, Slovenija
3. KC Ljubljana, Klinika za nuklearno medicino, Ljubljana, Slovenija
4. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana, Slovenija
5. Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija
6. Onkološki inštitut, Ljubljana, Slovenija
7. Politecnico di Milano, Milano, Italija
8. TU Wien, TRIGA Center Atominstytut, Avstrija
9. Uppsala University, Department of Physics and Astronomy, Švedska

SLUŽBA ZA VARSTVO PRED IONIZIRAJOČIM SEVANJEM

SVPIS

SVPIS se z meritvami ionizirajočega sevanja in varstva pred njim ukvarja že vse od izgradnje raziskovalnega reaktorja leta 1966. Osnovna naloga je izvajanje radiološkega nadzora vseh sevalnih dejavnosti na Institutu "Jožef Stefan". Z vidika nadzora sta najpomembnejša raziskovalni reaktor TRIGA MARK II in Objekt vroče celice (OVC), ki sta v okviru Reaktorskega infrastrukturnega centra (RIC) združena v enoten jedrski objekt. SVPIS ima pooblastilo za izvajanje nadzora okolja reaktorja skladno s programom varstva pred ionizirajočim sevanjem, ki je bil potrjen pri upravnih organih.

SVPIS nadzira še 17 laboratorijev ali skupin na IJS, ki pri raziskavah uporabljajo vire ionizirajočega sevanja. V laboratorijih je v uporabi veliko radioaktivnih virov in naprav, ki so vir ionizirajočega sevanja. Naše delo vključuje tudi nadzor nad radioaktivnimi odpadki (RAO), ki nastajajo znotraj IJS.

SVPIS v okviru svojega pooblastila izvaja tudi preglede sevalnih dejavnosti za zunanje naročnike pri uporabi virov v znanosti in industriji. V sklopu pregledov izvajamo meritve hitrosti doze, kontaminacije, spektrometrije gama ter koncentracije radona in njegovih potomcev po akreditiranih metodah (LP-022, EN ISO/IEC 17025).



Vodja:

mag. Matjaž Stepišnik

Osebna dozimetrija

V letu 2023 smo z osebnimi termoluminiscenčnimi dozimetri nadzirali 149 delavcev, ki poklicno redno ali občasno prihajajo v stik z viri ionizirajočega sevanja. Največja izmerjena letna doza zaposlenega je znašala 0,23 mSv, kar je 1 % letne dozne omejitve za poklicnega delavca z viri sevanja (20 mSv na leto). Kolektivna letna doza pri vseh delih na IJS je bila 2,3 človeka mSv.

Nadzor raziskovalnega reaktorja in laboratorijev

Redne preglede prostorov nadzorovanega območja Reaktorja TRIGA, Objekta vroče celice (OVC) in Odseka za znanosti o okolju smo izvajali tedensko. Pri nekaterih radiološko zahtevnih delih je bila potrebna stalna prisotnost sodelavcev SVPIS (odpiranje aktiviranih vzorcev, delo z radioaktivnimi odpadki, postavitve novih eksperimentov). V okviru nadzora smo izvajali meritve hitrosti doze, kontaminacije površin, predmetov in osebne kontaminacije. Rezultati nadzora kontaminiranosti prostorov so pokazali večinoma nemerljivo ali zanemarljivo kontaminiranost. Lokalno povišane ravni sevanja je bilo mogoče izmeriti le na nekaterih mestih, predvsem na nadzorovanem območju reaktorja.

Trenutno je na IJS v uporabi več kot 100 radioaktivnih virov (odprtih in zaprtih) in 15 naprav (RTG-aparatur in pospeševalnik TANDETRON), za katere je potreben upravni nadzor. Dodatno se na IJS uporablja še okoli 450 radioaktivnih virov z manjšo aktivnostjo. V tem letu smo opravili 15 podrobnih radioloških pregledov laboratorijev IJS, kjer uporabljajo vire sevanja. Neodvisna pooblaščenca organizacija je opravila dodaten nadzor nad SVPIS in dvema laboratorijema na IJS. Pri pregledu ni zaznala pomanjkljivosti, ki bi lahko vplivale na sevalno varnost zaposlenih.

Nadzor okolja reaktorja

Nadzor okolja reaktorja izvajamo skladno s Programom nadzornih meritev sevanja v okolici Reaktorskega centra IJS. Nadzorne meritve sestavljata dva sklopa, in sicer meritve izpustov (emisije) in meritve v okolju (imisije). Koncentracije sevalcev gama v vzorcih vod, filtrov, žlahtnih plinov, zemlje in sedimentov smo redno merili z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG). SVPIS opravi letno okoli 500 različnih VLG-meritev za potrebe reaktorja in drugih odsekov. Meritve doze zunanjega sevanja z okoljskimi pasivnimi dozimetri smo izvajali v sodelovanju s pooblaščenim dozimetričnim laboratorijem.

Na podlagi emisijskih meritev in konservativnih predpostavk razširjanja radioaktivnih snovi preliminarno ocenjujemo, da je bila letna efektivna doza prebivalstva v okolici Reaktorskega centra ocenjena na manj kot 1 mikro Sievert.

Izdelava strokovnih mnenj in izvajanje meritev za zunanje naročnike

SVPIS je pooblaščenca za izvajanje nadzornih meritev, meritev koncentracije radona in njegovih potomcev ter izdelavo strokovnih mnenj s področja varstva pred sevanji. V letu 2023 smo izvedli 46 naročil za zunanje naročnike.

Sevalna obremenitev prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega centra je bila v letu 2023 zanemarljiva.

Sodelavci SVPIS smo sodelovali tudi pri ocenah vpliva Jedske elektrarne Krško, raziskovalnega reaktorja TRIGA, Skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju na okolje ter pri pripravi Ocene upravičenosti predmetov splošne rabe v okviru projekta URSJV.

MEDNARODNI PROJEKT

1. Strokovno izpopolnjevanje IAEA štipendistov g. Albarqi Mubarak Mohammed M in g. Alsulami Raed Atiah M (EVT2205710: SAU1007), 20. 02. 2023 - 24. 02. 2023
IAEA - International Atomic Energy Agency
mag. Matjaž Stepišnik

PROJEKTI

1. O izvedbi sistematičnega pregledovanja in izvajanja meritev radona v vzgojno-varstvenih in drugih ustanovah za obdobje 2024-2025 (Sklop 1)
Ministrstvo za zdravje
mag. Matjaž Stepišnik

2. Skladiščenje uranil acetata
Nacionalni inštitut za biologijo
mag. Matjaž Stepišnik
 3. Uporaba objekta vroča celica - OVC
ARAO, Ljubljana
mag. Matjaž Stepišnik
 4. Izvedba pregleda virov ionizirajočega sevanja
Ministrstvo za obrambo
mag. Matjaž Stepišnik
 5. Radiološki pregledi virov sevanja - Manjše usluge / Razni tuji kupci
mag. Matjaž Stepišnik
 6. Obsevanja na reaktorju TRIGA
mag. Matjaž Stepišnik
 7. Obsevanje kapsul FT-TMS na reaktorju TRIGA za 2020-2023
CEA- Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
mag. Matjaž Stepišnik
-

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. dr. Tinkara Bučar
2. Mitja Eržen, univ. dipl. fiz.
3. **mag. Matjaž Stepišnik, vodja SVPIS**

Tehniški in administrativni sodelavci

4. Thomas Breznik, dipl. inž. rad.
5. Tanja Murn, mag. prof. pouč. bio. in kem.
6. Nina Udir, univ. dipl. inž. graf. tehnol.

CENTER ZA PAMETNA MESTA IN SKUPNOSTI

CPMiS

Center za Pametna mesta in skupnosti (C PMiS) je bil ustanovljen leta 2017. Njegova prioriteta naloga je bila koordiniranje in vodenje Strateško razvojno-inovacijskega partnerstva Pametna mesta in skupnosti (SRIP PMiS) skozi prvo, drugo in tretjo fazo operacije SRIP PMiS (zaključena 30. 9. 2023).

C PMiS je spodbujal medodsečno sodelovanje na Institutu "Jožef Stefan" ter s tem prispeval tudi k podpori SRIP PMiS na prednostnem področju pametnih mest in skupnosti, v skladu z usmeritvami slovenske strategije trajnostne pametne specializacije S5.

V letu 2023 je center vodila dr. Nevenka Cukjati.



Vodja:

dr. Nevenka Cukjati

Projekt SRIP PMiS

Strateško razvojno inovacijsko partnerstvo Pametna mesta in skupnosti je oblika partnerstva, v okviru katere smo deležniki združili moči pri razvoju in prodaji rešitev za dvig kakovosti življenja v mestih prihodnosti. Namen SRIP PMiS je povezati podjetja in raziskovalne ustanove na posameznem področju v verige vrednosti, določiti prioritete za razvojna vlaganja in usklajevati raziskovalno-razvojne dejavnosti. Gradimo dobro podporno okolje za izmenjavo znanja in izkušenj v obliki delavnic, seminarjev in skupnih dogodkov, dostop do preizkusnih okolij, laboratorijev, podatkovnih baz; pomoč pri analizi trgov, razvoju kadrov, zaščiti intelektualne lastnine in pomoč pri internacionalizaciji.

V skladu z Javnim razpisom za izbor operacij *Podpora strateškemu razvojno inovacijskemu partnerstvu (SRIP) za obdobje 2023–2026*, objavljenim v Uradnem listu RS, št. 106/23 z dne 13. 10. 2023, smo 10. 11. 2023 skupaj s konzorcijskima partnerjema Urbanističnim inštitutom Republike Slovenije (UIRS) in Gospodarsko zbornico Slovenije (GZS) oddali na Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije (MVZI) prijavo. Pozitiven sklep od MVZI smo prejeli 19. 12. 2023.

SRIP PMiS trenutno povezuje 84 članov (podatki za konec leta 2023) v naslednji sestavi: 25 % mikro podjetij, 31 % majhnih podjetij, 6 % srednjih podjetij, 11 % velikih podjetij, 18 % fakultet oziroma inštitutov ter 9 % občin oziroma združenj. Članom SRIP PMiS je na voljo odprtokodna spletna Platforma SRIP PMiS: Tehnološka igralnica in Tržnica rešitev. V Tehnološki igralnici lahko spoznavajo in preizkušajo različne tehnologije in platforme (igrala) za razvoj inovativnih rešitev na področju pametnih mest in skupnosti. Svoje rešitve pa lahko delijo in promovirajo na skupni digitalni tržnici.

Aktivno smo vključeni v proces misij za podnebno nevtralna mesta, ki poteka na ravni EU Komisije: bili smo pobudniki za aktivno vključitev slovenskih mest v proces Misije za 100 podnebno nevtralnih mest do leta 2030. Dr. Nevenka Cukjati sodeluje kot nacionalna delegatka v delovni skupini za pametna mesta na ravni RS in EU. Člane obveščamo in spodbujamo k povezovanju s slovenskimi mesti, na način izmenjave strokovnih znanj, produktov in storitev. Skupaj s ključnimi deležniki v Republiki Sloveniji smo v sklopu Slovenskega inštituta za standardizacijo (SIST) dali pobudo za oblikovanje tehnične skupine za prevod in implementacijo EU standardov s področja podnebno nevtralnih trajnostnih pametnih mest v slovenski prostor.

Sodelujemo pri oblikovanju makroregionalne strategije EU za jadransko-jonsko regijo (EUSAIR 2021–2027), katere splošni cilj je: spodbujati gospodarsko in socialno blaginjo ter rast v regiji z izboljšanjem njene privlačnosti, konkurenčnosti in povezljivosti na tematskih področjih trajnostnega turizma, modre rasti, povezovanja regij in kakovosti okolja. Skupaj z Evropskim inštitutom za inovacije in tehnologijo, Skupnost znanja in inovacij, področje podnebje, (EIT Climate-KIC) sodelujemo pri projektu: Deep Demonstration. Gre za model sistemkega prehoda v krožno, regenerativno, brezogljično gospodarstvo s ciljem razogljčiti Slovenijo in postati primer dobre prakse za vse, ki se zavedajo, da bo prehod v nizkoogljično gospodarstvo učinkovit le, če ga razumemo in izvedemo sistemsko.

Bili smo partner konference Digital Health 2023, ki sta jo 23. 2. 2023 na Fužinskem gradu v Ljubljani organizirala član SRIP PMiS, Tehnološki park Ljubljana, d. o. o., in Ljubljanski univerzitetni inkubator. Pod okriljem DIGI-SI je potekal vzporedni program Show of Innovation, kjer so bile na stojnicah investitorjem in strateškim partnerjem predstavljene tehnološke rešitve za uporabo v zdravstvenem sistemu.

V Hiši EU v Ljubljani so 16. 5. 2023 Mreža NVO za vključujočo informacijsko družbo, Mreža okoljskih organizacij Plan B za Slovenijo in Mreža za prostor, ob podpori Konzorcija vsebinskih mrež NVO in SRIP PMiS, organizirali posvet Kje in kako se srečata zeleni in digitalni prehod? Udeleženci posveta so se spoznali z mehanizmi zelenega in digitalnega prehoda ter s točkami in načini njihovega prepletanja. Pogovarjali smo se tudi, kako sta zeleni in digitalni prehod povezana v Sloveniji in s katerimi izzivi se še moramo spopasti.

Na IJS smo 5. 9. 2023 skupaj s SRIP ToP in META Circularity pripravili delavnico Projekti dvojnega prehoda (zeleno/digitalno), kjer smo predstavili inovacijsko podporo in možnosti sodelovanja v evropskih projektih, kot so EIT-Manufacturing, I3 in misije Podnebno nevtralna in pametna mesta.

Projekt SI4CARE

Projekt **Interreg ADRION SI4CARE** – Socialne inovacije za celostno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION je začel delovati 1. 12. 2020 in je trajal do 31. 5. 2023. Projekt SI4CARE je sofinanciral program Interreg ADRION (Evropski sklad za regionalni razvoj – ESRR) v skupnem znesku nekaj več kot 2 milijona evrov. Vodilni partner projekta je bila Univerza v Ljubljani z 8 partnerji iz 7 držav. V sklopu IJS smo sodelovali z odsekom za Računalniške sisteme (E7) in Inteligentne sisteme (E9).

Cilj projekta je bil, da bi bilo starajoče se prebivalstvo v ADRION regijah preskrbljeno z zdravstveno oskrbo. Glavni namen projekta je bil združiti strategije in akcijske načrte v posameznih državah (Slovenija, Italija, Hrvaška, Bosna in Hercegovina, Grčija, Črna gora, Srbija) ter jih uporabiti v praksi kot pomoč starostnikom, predvsem na odročnih krajih.

V sklopu projekta je bil ustanovljen Multidisciplinarni raziskovalno-razvojni center za socialne inovacije za aktivno in zdravo staranje (MRRC), ki spodbuja zavezo k iskanju in zagotavljanju novih rešitev in sodobnih konceptov za aktivno in zdravo staranje v regijah ADRION. Multidisciplinarni raziskovalno-razvojni center bo skrbel za promocijo in nadgradnjo rezultatov SI4CARE in nadaljevanje delovanja mednarodnega ekosistema po zaključku projekta. Natančneje, dejavnosti centra vključujejo organizacijo srečanj in delavnic, strokovno podporo pri usposabljanju in izobraževanju starejših za dvig njihove digitalne pismenosti ter bodo namenjene splošni mednarodni izmenjavi znanj med vključenimi deležniki, ki se ukvarjajo s področjem aktivnega in zdravega staranja, predvsem s svojo letno konferenco s predstavniki različnih organizacij iz regije ADRION.

V okviru zaključnega dogodka projekta SI4CARE, ki je potekal 19. in 20. 4. 2023 v Ljubljani, je bila organizirana 1. Mednarodna konferenca o aktivnem in zdravem staranju *Socialne inovacije za aktivno in zdravo staranje*. Obravnavane so bile pomembne teme s področja družbenih inovacij za sedanjost in prihodnost aktivnega in zdravega staranja. V okviru konference projekta SI4CARE so sodelujoče države podpisale **memorandum** o soglasju za zdravo in družbeno angažirano staranje.

Projekt WEFE4MED

Projekt **PRIMA WEFE4MED** – Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus je začel delovati 1. 10. 2022 in bo trajal do 30. 9. 2026. Projekt je podprt in financiran v okviru Obzorje 2020 – program Evropske unije za raziskave in inovacije v skupnem znesku nekaj manj kot 2 milijona evrov. Vodilni partner projekta je The Cyprus Institute z 10 partnerji iz 8 držav. V sklopu IJS sodelujemo z odsekom za Računalniške sisteme (E7) in Tehnologije znanja (E8). Do zdaj je bilo organiziranih že več kot 30 javnih dogodkov in demo prikazov, ki spodbujajo spremembe navad v kontekstu spodbujanja trajnostnega in krožnega ravnanja z okoljem.

Splošni cilj je spodbujati sprejetje pristopa Nexus voda-energija-hrana-ekosistemi (WEFE) v Sredozemlju prek skupnosti prakse Nexus za soočanje s podnebnimi in okoljskimi izzivi, s katerimi se srečujejo družbe in agro-ekološki sistemi. Skupnost bo združevala prakse, znanstvenike, oblikovalce politik, civilno družbo, medije, podjetnike, inovatorje in investitorje. Zbralo in izmenjevalo se bo znanje, krepile se bodo zmogljivosti z uvajanjem najboljših praks in znanstveno utemeljenih politik ter inovativnih rešitev, ki so jih navdihnili demonstracijska mesta, ter prikazala prednost celostnega upravljanja naravnih virov za trajnostni in podnebno odporen razvoj v Sredozemlju.

Projekt UA-CITINET

Kot eden izmed 29 partnerjev konzorcija iz 11 držav smo 6. 9. 2023 oddali prijavo na CSA Horizon razpis iz sklopa Misij za podnebno nevtralna pametna mesta: *Associating Ukrainian cities to the Climate-neutral and smart cities Mission*. Cilj projekta je: implementirati najsodobnejše okoljsko trajnostne tehnologije pametnih mest in jih vključiti v osrednjo skupino izbranih ukrajinskih mest, ki si prizadevajo doseči cilj podnebne nevtralnosti. Projekt ni bil izbran za financiranje, smo pa navezali kontakte s ključnimi deležniki evropskega gospodarskega, razvojnega raziskovalnega in političnega prostora.

Projekt NACHIP

Kot prijavitelj konzorcija 12 partnerjev iz 3 držav smo 17. 10. 2023 oddali prijavo NORTH ADRIATIC CLEAN (RENEWABLE) HYDROGEN INVESTMENT PLATFORM (NACHIP), ki je namenjena pospeševanju in krepitvi inovacij v zvezi z vodikovim ekosistemom severnega Jadrana s poudarkom na naložbah v tehnologije, povezane z obnovljivim vodikom s tremi vrednostnimi verigami: proizvodnjo, mestnimi območji in mobilnostjo, ter povečevanju učinka s prizadevanji za izvajanje naložbene platforme, ki se bo uporabljala za nadaljnje vključevanje in razširjanje naprednih tehnologij. Projekt bo trajal 36 mesecev in ga je EU prepoznala kot dobrega. V letu 2024 začnemo z njegovo

realizacijo. Gre za nadgradnjo oziroma implementacijo okolju prijaznih in trajnostno naravnanih tehnologij, ki se širše gledano navezujejo tudi na projekt t. i. *Velike vodikove doline* (NAHV), ki ga koordinira Holding Slovenske elektrarne, d. o. o. (HSE) in se je začel v sredini leta 2023.

MEDNARODNI PROJEKT

1. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
PRIMA Foundation - Partnership on Research and Innovation in the Mediterranean Area
dr. Nevenka Cukjati

PROJEKTI

1. SI4CARE - Socialne inovacije za celotno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region
dr. Nevenka Cukjati
 2. SRIP PMiS: SRIP Pametna mesta in skupnosti
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
dr. Nevenka Cukjati
 3. Podpora strateškemu razvoju inovacijskim partnerstvom (SRIP) na prioritetnih področjih pametne specializacije, SRIP Pametna mesta in skupnosti (SRIP PMiS)
dr. Nevenka Cukjati
-

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. **dr. Nevenka Cukjati, vodja CPMiS**

Tehniški in administrativni sodelavci

2. *Mojca Kristl, univ. dipl. ekon., odšla 1. 10. 2023*
3. Jan Kunc, dipl. org. (UN)

CENTER TOVARNE PRIHODNOSTI

CToP

Vodenje Centra Tovarne prihodnosti (CToP) je 1. januarja 2023 prevzel doc. dr. Igor Kovač. Njegova glavna naloga je koordiniranje Strateško razvojno-inovacijskega partnerstva Tovarne prihodnosti (SRIP ToP), ki je bilo ustanovljeno v začetku leta 2017. Poleg navedenega CToP spodbuja sodelovanje in ustvarjanje raziskovalnih in poslovnih sinergij med raziskovalnimi in industrijskimi partnerji znotraj Slovenije, še posebno vključevanje kompetenc in kapacitet na področju najnovejših tehnologij Instituta "Jožef Stefan" in drugih članov SRIP-a ter usmerjanje v internacionalizacijo, podjetništvo in seznanjanje z intelektualno lastnino v sodelovanju z enotami znotraj IJS. S tem CToP prispeva k podpori partnerstva ter hkrati aktivno sodeluje pri ustvarjanju razvojno raziskovalnih trendov v prihajajočih letih v sodelovanju z akademijo, gospodarstvom in državo.



V. d. vodje:
doc. dr. Igor Kovač

Kaj ponuja Strateško razvojno inovacijsko partnerstvo Tovarne prihodnosti?

Strategija SRIP Tovarne prihodnosti (SRIP ToP) je zbrati in povezati slovenska raziskovalna in inovacijska znanja ter izkušnje iz industrijske in akademske sfere ter izpostaviti prioriteta prebojna področja novih izdelkov, tehnologij in storitev za Tovarne prihodnosti. Vzpostavili smo podporno okolje s strokovnimi službami za industrijo in raziskovalne organizacije s poudarkom na razvijajočih se novih vrhunskih tehnologijah, ki združujejo in nadgrajujejo slovenske raziskovalne in inovacijske dosežke.

Ključne funkcije strateškega dolgoročnega povezovanja so izdelava in dopolnjevanje strateškega akcijskega načrta za področje ToP, dejavnosti glede razvoja skupnih storitev, internacionalizacija, razvoj človeških virov in podjetništva, zastopanje skupnih interesov do države itd. Del storitev se opravlja tudi v sodelovanju z drugimi institucijami.

SRIP ToP ustvarja in podpira poslovne in raziskovalne sinergije na področju tovarn prihodnosti za nove izdelke, storitve in tehnologije ter pomaga podjetjem pri vstopu na svetovni trg, z osredotočenjem na nišna področja.

Člani SRIP ToP prihajajo iz različnih podjetij, združenj ali ustanov iz Slovenije. Delovanje SRIP ToP se osredotoča na večja povezovanja znanj za skupni nastop deležnikov na domačih in tujih trgih. Primarna cilja sta povečanje deleža visokotehnoloških industrijskih izdelkov v izvozu ter dvig dodane vrednosti in produktivnosti slovenske industrije.

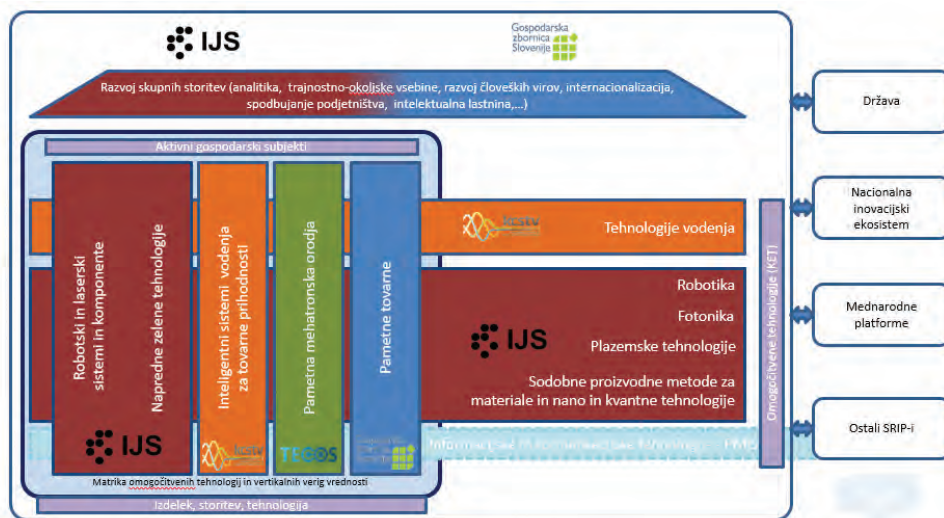


Strateško razvojno inovacijsko partnerstvo
TOVARNE PRIHODNOSTI

Ključna področja delovanja

Organizacijska shema SRIP ToP vključuje pet področij (vertikalne verige vrednosti – VVV), skozi katera se prepleta pet horizontalnih mrež (HOM) s ključnimi omogočevalnimi tehnologijami (slika 1).

V dvodimenzionalni matrični strukturi, kjer se prepletajo omogočevalne tehnologije in vertikalne verige vrednosti, IJS upravlja naslednje: VVV – Robotiki in laserski sistemi in komponente, Napredne zelene tehnologije ter



Slika 1: Shema področij SRIP ToP

HOM – Robotika, Fotonika, Plazemske tehnologije, Sodobne proizvodne metode za materiale ter nano in kvantne tehnologije.

SRIP ToP z učinkovitim usmerjanjem raziskav in razvoja ter uvajanjem znanj in tehnologij posredno prispeva k digitalni preobrazbi ter pospeševanju prehoda v energijsko učinkovito in zeleno gospodarstvo. Prizadevanja so usmerjena v proizvodnjo bolj kakovostnih izdelkov, ob manjši porabi energije in surovin, manjšem onesnaževanju okolja, boljši vključenosti ljudi itd. S tem spodbuja k zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov oziroma k intenzivnemu prehodu v nizkoogljično družbo ter v zelene tehnologije in digitalno preobrazbo. Bistvo koncepta tovarn prihodnosti se kaže predvsem skozi večje možnosti za ponovno uporabo odpadnih surovin, ki jo omogoča bolj fleksibilna in optimalno vodena visokotehnološka proizvodnja ter energetska in snovna učinkovitost, ki jih omogočajo nove tehnologije in sistemi vodenja.

Na področju **internacionalizacije** smo organizirali odmeven mednarodni dogodek *Innovation day in Ljubljana*, ki je potekal 6. decembra 2023. Na dogodku smo vsebino predstavili skupaj z odsekom K7 – Nanostrukturni materiali in z evropskim institutom EIT Proizvodnja (Manufacturing). Vsebinsko so bili na dogodku udeleženi tudi nekateri člani SRIP ToP, drugi so dogodku prisostvovali kot udeleženci.

Z namenom, da bi razširil in utrdil svoje dejavnosti na področju inovativnosti doma in v tujini, se IJS kot koordinator SRIP ToP aktivno vključuje v različne evropske iniciative. Ena od teh je **Evropski inštitut za inovacije in tehnologijo** (European Institute of Innovation and Technology – EIT), ki inovatorjem in podjetnikom omogoča, da razvijajo rešitve za ustvarjanje rasti in novih delovnih mest.

Tako je SRIP ToP prek IJS na področju proizvodnje (Manufacturing) aktivno prisoten že od začetka kreiranja skupnosti **EIT Manufacturing – EITM** (www.eitmanufacturing.eu), od leta 2021 pa je pravno močen jedrni član. Za podporo izvajanju programa EITM na IJS se je institut notranje ustrezno organiziral. Vsem odsekom in centrom na IJS je v fazi nastajanja poslal informativno vabilo, na katero se je odzvalo sedem odsekov, ki so vsi člani SRIP ToP, poleg Centra Tovarne prihodnosti. Pri tem so bila sklenjena in sprejeta pravila včlanitve v EITM. Na podlagi tega je IJS kot član in hkrati koordinator SRIP ToP deloval v inovacijskem ekosistemu EITM, sodeloval pri razvoju ključnih tem v proizvodnih tehnologijah in procesih, se udeleževal pri odločanju glede globalnih vprašanj, izmenjeval industrijske izkušnje na evropski ravni, opredeljeval ključne zahteve in se prijavljal na razpise za projekte EITM. IJS je kot jedrni član lahko k projektom povabil tudi zunanje partnerje, ki niso člani EITM – pri tem pa so seveda imeli prednost člani SRIP ToP.

V letu 2023 so bile v EITM vključene naslednje enote kot člani SRIP ToP:

- IJS, Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E1),
- IJS, Odsek za Sisteme in vodenje (E2),
- IJS, Umetna inteligenca (E3),
- IJS, Tanke plasti in površine (F3),
- IJS, Tehnologija površin in optoelektronika (F4),
- IJS, Nanostrukturni materiali (K7),
- IJS, Raziskave sodobnih materialov (K9),
- IJS, Center – Tovarne prihodnosti (CToP) in
- IJS, Odsek za komunikacijske sisteme (E6).

Svetovalnemu odboru EITM smo predstavili svoje delovanje in vključene odseke IJS in Center ToP. Člani z IJS so se udeleževali mrežnih dogodkov (EITM MatchMaking Events), kratkih predstavitev projektnih idej (Idea Pitch) in delavnic za pomoč pri pripravi projektnih vlog. Bili smo dejavni tudi pri pripravi projektnih vlog. V okviru zadnjega razpisa EITM za inovacijske projekte je IJS kot vodilni partner prijavil en projekt. Naj poudarimo, da gre pri tem za projekte z začetno ravno tehnološke razvitosti (Technology readiness level) – TRL 5 do 6 ali več, zato sta zelo jasno izražena potreba po komercializaciji rezultatov in strategija go-to-market. V prihodnje želimo k sodelovanju pri projektih privabiti čim več partnerjev, ki so člani SRIP ToP, ter pridobiti čim več projektov na področju inovativnosti, poslovnosti in izobraževanja, še posebno na področju razpisov RIS.

Leto 2023 je potekalo v znamenju zaključka **3. faze projekta SRIP ToP in prijave na nov javni razpis SRIP 2023–2026**, ki smo ga uspešno pridobili in posledično vodimo projekt SRIP ToP dalje. Pri izvajanju dejavnosti smo sledili akcijskemu načrtu operacije SRIP, srečevali smo se s koordinatorji posameznih vertikalnih verig vrednosti in horizontalnih mrež ter jih spodbujali, da se povežejo s člani pri pripravi skupnih projektov ter pri pripravi in izvedbi dogodkov, zanimivih za člane ter raziskovalni sektor in industrijo. Nadaljevali smo sodelovanje z drugimi SRIP-i in s ključnimi ministrstvi, ki so pomembni za naše delo (ministrstvo, pristojno za gospodarstvo, ministrstvo, pristojno za izobraževanje), ter s Službo vlade za razvoj in kohezijsko politiko (SVRK). Po reorganizaciji ministrstev, kot posledica nove vlade, sta v letu 2023 pristojnost za SRIP-e prevzela Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije ter agencija ARIS. Z novo ekipo na ministrstvu smo vzpostavili kontakte in se aktivno vključili v razpravo in pripravo na nov razpis SRIP. Prijavo na nov javni razpis SRIP 2023–2026 smo oddali 27. oktobra 2023 in prejeli sklep o odobritvi decembra 2023.

V letu 2023 smo začeli dejavnosti ustanovitve novega Centra za Razvojno Inovacijsko Partnerstvo (CRIP), za potrebe čim bolj učinkovite in vitke organizacije pri izvajanju podpornih storitev na prednostnih področjih ToP in PMiS v okviru nove Strategije pametne specializacije S5. Pobudo za ustanovitev novega centra je leta 2023 potrdil Znanstveni svet IJS, Upravni odbor IJS pa konec leta 2023.

V SRIP ToP stalno poteka proces podjetniškega odkrivanja, ki se nanašajo na spremembe pri določenih produktih in razvojnih področjih, ki so vključeni v prenovljeno strategijo pametne specializacije za obdobje 2021–2027. Pri tem smo v ospredje postavili kreiranje instrumenta Nacionalni demo center pametne tovarne, poudarili pa smo pomen in vključevanje ključnih omogočevalnih tehnologij, katerih razvoj in financiranje sta ključna za uspešnost tako celotne slovenske pametne specializacije kot za IJS.

Na različnih srečanjih doma in v tujini smo predstavili SRIP ToP in našo dejavnost. Bili smo aktivni pri **zbiranju in pripravi novic za člane**, naša spletna stran pa se stalno posodablja in osvežuje. Stran je bila dobro obiskana, saj je stičišče novic s področja tehnologij in naših dejavnosti. V kombinaciji s socialnimi omrežji seznanja z našo dejavnostjo vse širši krog sledilcev. Redno smo objavljali novice, ki so dosegale lepo branost med prejemniki.

Za spodbujanje organizacij k včlanitvi v SRIP ToP smo v letu 2023 izvedli **več predstavitev in dogodkov SRIP ToP**. Med najbolj odmevnimi so bili: S povezovanjem in izkoriščanjem sinergij do inovativnih rešitev in sofinanciranih projektov (marec in maj 2023), Z merjenjem mehanskih veličin do inovacijskih prebojev (april 2023), EIT Manufacturing delavnica (maj 2023), Innovation day in Ljubljana (december 2023), Projekti dvojnega prehoda (september 2023). V sklopu niza dogodkov z naslovom *Koraki do pametne tovarne*, ki smo jih organizirali v sodelovanju s podjetjem Kolektor Sisteh, sta leta 2023 potekala dva dogodka. Na dogodkih so strokovnjaki z udeleženci delili svoje izkušnje iz prakse z različnih tematik s področja pametnih tovarn.

Sodelovali smo na sejmi IFAM (marec 2023), Forum IRT (junij 2023), Sejem MOS (september 2023), Viva Technology sejem v Parizu – udeležba članov na največjem evropskem sejmu na področju inovacij (junij 2023). S Slovenskim institutom za kakovost in meroslovje – SIQ smo sodelovali pri izvedbi izobraževanja v sklopu večdnevne Šole Industrija 4.0.

V letu 2023 smo vzpostavili neformalno združenje slovenskih integratorjev robotske in avtomatizacijske tehnologije s področja Tovarn prihodnosti. Namen je povezati slovenske integratorje s področja Tovarn prihodnosti, saj se tako lahko ustvari izmenjava informacij in sinergija med njimi, kar bo omogočilo večje razvojne napredke za celotno slovensko industrijo.

V letu 2023 se je v SRIP ToP včlanilo **13 novih članov**, to so: Bizjan orodjarstvo, d. o. o., DSI Expert, d. o. o., Fakulteta za varstvo okolja Velenje, Gorenje gospodinjski aparati, d. o. o., IJS Odsek za komunikacijske sisteme – E6, Plasil plazemske tehnologije, d. o. o., Rudolfovo, SCAN, d. o. o., SPR, d. o. o., Teces, Tenovis, d. o. o., in Visoka šola za proizvodno inženirstvo.

V letu 2023 smo uspešno nadaljevali izvajanje projekta v sklopu Horizon Europe ZOOM – **Ozaveščanje o 30 in IP za ekosisteme sodelovanja**. Projekt želi ozaveščati o pomenu ustvarjanja in upravljanja intelektualne lastnine v sodelovalnih inovacijskih ekosistemih, ki se zanašajo na tri ključna sredstva: programsko opremo, strojno opremo in podatke. V praksi je zaznan problem pomanjkanja kompetenc pri podjetjih, ki ustvarjajo izdelke na osnovi treh O-jev (open software, open hardware, open data). Podjetja torej želijo ponujati svoje storitve/izdelke odprto (for free), imajo pa pri tem težave pri usklajevanju svojih poslovnih modelov z ustreznimi licencami pravic intelektualne lastnine. To preprečuje nadaljnji razvoj in razmah inovacijskega potenciala. Pri projektu bodo izdelana orodja (videi, spletne platforme, izobraževalni modeli ipd.) za spodbujanje odprtega licenciranja v industriji. Ti modeli bodo vključevali tako pravni kot poslovni vidik odprtega licenciranja.

Pri projektu sodelujemo z uglednimi evropskimi institucijami. Naši partnerji prihajajo iz Belgije, Finske, Bolgarije, Danske, Avstrije, Nemčije in Italije: Katholieke Universiteit Leuven, Teknologian Tutkimuskeskus VTT OY, Fondatsiya LiBRE, EIT Manufacturing South Srl, AALBORG University, Innovations und Technologietransfer Salzburg GmbH, Free Software Foundation Europe E.V., Hub Innovazione Trentino – Fondazione, Università degli Studi di Trento.

Ob zaključku projekta želimo podati gospodarstvu, predvsem industriji, poslovne rešitve in uporabna orodja za sprejemanje ustreznih odločitev o tem, katere odprte strategije licenciranja se najbolje ujemajo z določenimi poslovnimi modeli.

V okviru projekta EIT Manufacturing Hub za Slovenijo smo vzpostavili stičišče za sodelovanje in izmenjavo znanja med strokovnjaki iz industrije, akademskimi ustanovami in raziskovalnimi ustanovami. Z združevanjem različnih deležnikov poskušamo ustvariti živahen ekosistem, v katerem cvetijo ideje in nastajajo transformativne rešitve.

Naše partnerje podpiramo pri pripravi inovacijskih programov in spodbujamo izmenjavo dobrih praks. S strokovnimi posvetovanji in dogodki, kot je delavnica Projekti dvojnega prehoda (zeleno/digitalno) ali delavnica v Ljubljani v sodelovanju z mrežo EIT Manufacturing in CLC East, smo izboljšali dostop naših partnerjev do evropske strokovne skupnosti. Izpostavili smo storitve EIT RIS Hub ter skupnosti SLO ponudili pomoč in podporo na področju proizvodnje pri mreženju in povezovanju pri inovacijskih idejah.



Aktivno sodelujemo v dvostranskih projektih s sosednjimi državami in uspešno organiziramo odmevne mednarodne delavnice in dogodke, kot je Innovation Day Ljubljana. Širitev naše mreže je bila prednostna naloga in uspešno smo sprejeli nove partnerje.

MEDNARODNA PROJEKTA

1. OE - ZOONOM; 30s in IP ozaveščanje sodelujočih ekosistemov
European Commission
doc. dr. Igor Kovač
2. EIT M; EIT Manufacturing RIS HUB v Sloveniji za leto 2023
EIT Manufacturing East GmbH
doc. dr. Igor Kovač

PROJEKTA

1. SRIP ToP: SRIP Tovarne prihodnosti
Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije
doc. dr. Igor Kovač
 2. EIT M East - IJS; Sponzorstvo delovanja SRIP FoF
EIT Manufacturing East GmbH
doc. dr. Igor Kovač
-

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **doc. dr. Igor Kovač, vodja CToP**

Strokovni sodelavci

2. Petra Hauschild, mag. tur. man.
3. *Marko Keber, univ. dipl. inž. str., odšel 22. 5. 2023*
4. Matjaž Logar, univ. dipl. prav.
5. Nataša Pibernik, spec.
6. Nataša Vertot Rakun, univ. dipl. ekon.

Tehniški in administrativni sodelavci

7. Tamara Hrabar Vovk, univ. dipl. prav.