



Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije  
Nuclear Society of Slovenia



ODSEK ZA  
REAKTORSKO FIZIKO

---

---

# 13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov

---

---

Zbornik povzetkov

---



Ljubljana, 2026

Mreža mlade generacije (MMG), Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije  
Institut "Jožef Stefan", Odsek za reaktorsko fiziko (F8)

# 13. KONFERENCA MLADIH JEDRSKIH STROKOVNJAKOV

## ZBORNİK POVZETKOV

Reaktorski center – Institut "Jožef Stefan", 21. 5. 2026

Ljubljana, 2026

Mreža mlade generacije (MMG), Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije  
Institut "Jožef Stefan", Odsek za reaktorsko fiziko (F8)

<https://www.djs.si/mmg/kmjs2026/>

## Zbornik povzetkov za 13. konferenco mladih jedrskih strokovnjakov

Avtorji povzetkov:  
(abecedni vrstni red)

Benjamin Barbarič  
Pierce Ellingson  
Enida Fatić  
Mark Fortuna  
Aljoša Gajšek  
Vuk Ignjatović  
Ylenia Kogovšek Žiber  
Jan Kokot  
Domen Kotnik  
Matic Krašovic  
Izak Kreuh  
Anej Kukovič  
Amirhossein Lame Jouybari  
Gašper Letnar  
Blaž Levpušček  
Simon Lončarič  
Jan Malec  
Anže Mihelčič  
Ana Mistrafović  
Gabi Novak  
Katerina Paskova  
Gregor Pavlin Poličar  
Julijan Peric  
Jure Pospšil  
Domen Romih  
Katja Šimenc  
Domen Šnuderl  
Gašper Sršen  
Ingrid Švajger  
Patrik Tarfila

Grafika: Gašper Sršen

Uredniški in Organizacijski odbor: Blaž Levpušček  
Gašper Sršen  
Mark Fortuna

Izdal: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije  
Jamova cesta 39  
SI-1001 Ljubljana  
Spletni naslov: [www.djs.si](http://www.djs.si)  
E-pošta: [djs@djs.si](mailto:djs@djs.si)

Izdano v elektronski obliki PDF.

Dostopno na: [https://www.djs.si/mmg/kmjs2026/images/Zbornik\\_KMJS\\_2026.pdf](https://www.djs.si/mmg/kmjs2026/images/Zbornik_KMJS_2026.pdf)

Ljubljana, 2026

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

[COBISS.SI-ID 278659075](#)

ISBN 978-961-6207-62-1 (PDF)

# 13. KONFERENCA MLADIH JEDRSKIH STROKOVNJAKOV

Urnik konference

08:15 Uvodni pozdrav – Igor Lengar, Luka Snoj, Danijel Levičar

08:40 VABLJENO PREDAVANJE **Domen Kotnik** — *Analiza aktivacije vode po obsevanju z nevtroni*

## ŠTUDENTSKESKE PREDSTAVITVE — FUZIJA

09:05 **Domen Romih**: Karakterizacija nevtronskega vira na zanki KATANA

09:15 **Domen Šnuderl**: Merjenje moči TRIGA reaktorja z merjenjem gladine vode

09:25 **Julijan Peric**: Nevtronski odziv obsevalne naprave z aktivirano vodo KATANA

09:35 **Mark Fortuna**: Izračuni radialne nevtronske kamere tokamaka ITER

09:45 **Ylenia Kogovšek Žiber**: Hitrost doze po zaustavitvi v tokamaku JET

09:55 *Odmor + skupinska slika*

10:20 VABLJENO PREDAVANJE **Gregor Pavlin Poličar** — *Vključevanje domenskega znanja v velike jezikovne modele*

## ŠTUDENTSKESKE PREDSTAVITVE — REAKTORSKA FIZIKA

11:00 **Blaž Levpušček**: Genetski algoritem za optimizacijo nevtronskih filtrov

11:10 **Anže Mihelčič**: Uporaba UI za načrtovanje sredice DARWIN-a

11:20 **Benjamin Barbarič**: Avtomatizacija postopka generiranja MCNP modela sredice NEK

11:30 **Ingrid Švajger**: Termično sipanje nevtronov v cirkonijevem hidridu: primerjava pristopov procesiranja

11:40 **Jan Malec**: Propagacija negotovosti iz jedrskih podatkov na parametre sredice NEK

11:50 **Jan Kokot**: Uporaba idealiziranih jedrskih podatkov v simulacijah

12:00 *Kosilo*

## ŠTUDENTSKESKE PREDSTAVITVE — REAKTORSKA FIZIKA (NADALJEVANJE)

13:00 **Jure Pospišil**: Izračun fizikalnih parametrov dvotočkovnega modela jedrskega reaktorja s programom OpenMC

13:10 **Gašper Letnar**: Občutljivostna analiza generičnega zabojnika za izrabljeno jedrsko gorivo

13:20 **Ana Mistravovič**: Antisnov kot nosilec energije

13:30 **Katja Šimenc**: Proizvodnja radionuklidov v fisijskih in fuzijskih reaktorjih

13:40 **Katerina Paskova**: Kontrola reaktivnosti večnamenskega mikroreaktorja

13:50 **Simon Lončarič**: Kvalificiranje eksperimentalne naprave za merjenje temperaturnega polja v reaktorju TRIGA

14:00 **Matic Krašovic**: Validacija programa OpenMC na referenčnih eksperimentih reaktorja IJS TRIGA Mark II

14:10 **Enida Fatić**: Development and Validation of a Multiphysics Coupling Framework for BME Research Reactor Analysis

14:20 **Gašper Sršen**: Multi-fizikalne simulacije termičnih pojavov v TRIGI

14:30 *Odmor*

14:45 VABLJENO PREDAVANJE **Amir Lame Jouybari** — *Irradiation effects on the mechanical properties of the crystalline lattice*

## ŠTUDENTSKESKE PREDSTAVITVE — REAKTORSKA TEHNIKA, MEDICINSKA FIZIKA in IZOBRAŽEVANJE

15:10 **Aljoša Gajšek**: Analiza občutljivosti MIT modela vrenja v fuzijskih pogojih

15:20 **Anej Kukovič**: 3D modeliranje ohlajanja plasti razbitkov

15:30 **Izak Kreuh**: Vpliv modela turbulentne disperzije na porazdelitev parne faze pri vrenju v obročasti reži

15:40 **Patrik Tarfila**: Rast utrujenostnih razpok pri obremenitvah s spremenljivo amplitudo z uporabo metode faznega polja

15:50 **Vuk Ignjatović**: A Bubble Tracking Velocimetry framework for Two-Phase flow based on StarDist detections obtained from the FEDORA experiment

16:00 **Pierce Ellingson**: Exact Pharmacokinetic Model Identification in Nuclear Medicine with Application to Toxicology

16:10 **Gabi Novak**: Izdelaj in preizkusi sam: detektor ionizirajočega sevanja

16:20 Skupščina MMG

16:20 Piknik

## Sponzor:



## Donatorja:



## Podpornika:



Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije  
Nuclear Society of Slovenia

# Kazalo vsebine

<b>I. del: Vabljena predavanja .....</b>	<b>5</b>
Domen Kotnik: Analiza aktivacije vode po obsevanju z nevtroni.....	6
Gregor Pavlin Poličar: Vključevanje domenskega znanja v velike jezikovne modele.....	7
Amirhossein Lame Jouybari: Irradiation effects on the mechanical properties of the crystalline lattice .....	8
<b>II. del: Fuzija .....</b>	<b>9</b>
Domen Romih: Karakterizacija nevtronskega vira na zanki KATANA.....	10
Julijan Peric: Nevtronski odziv obsevalne naprave z aktivirano vodo KATANA.....	11
Mark Fortuna: Izračuni radialne nevtronske kamere tokamaka ITER.....	12
Ylenia Kogovšek Žiber: Hitrost doze po zaustavitvi v tokamaku JET .....	13
<b>III. del: Reaktorska fizika .....</b>	<b>14</b>
Blaž Levpušček: Genetski algoritem za optimizacijo nevtronskih filtrov ..	15
Anže Mihelčič: Uporaba UI za načrtovanje sredice DARWIN-a .....	16
Benjamin Barbarič: Avtomatizacija postopka generiranja MCNP modela sredice NEK.....	17
Ingrid Švajger: Termično sipanje nevtronov v cirkonijevem hidridu: primerjava pristopov procesiranja.....	18
Jan Malec: Propagacija negotovosti iz jedrskih podatkov na parametre sredice NEK .....	19
Jan Kokot: Uporaba idealiziranih jedrskih podatkov v simulacijah .....	20
Jure Pospšil: Izračun fizikalnih parametrov dvotočkovnega modela jedrskega reaktorja s programom OpenMC .....	21
Gašper Letnar: Občutljivostna analiza generičnega zabojnika za izrabljeno jedrsko gorivo .....	22
Ana Mištrafović: Antisnov kot nosilec energije .....	23
Katja Šimenc: Proizvodnja radionuklidov v fisijskih in fuzijskih reaktorjih .....	24
Katerina Paskova: Kontrola reaktivnosti večnamenskega mikroreaktorja..	25

Matic Krašovic: Validacija programa OpenMC na referenčnih eksperimentih reaktorja IJS TRIGA Mark II .....	26
<b>IV. del: Multifizika.....</b>	<b>27</b>
Simon Lončarič: Kvalificiranje eksperimentalne naprave za merjenje temperaturnega polja v reaktorju TRIGA .....	28
Domen Šnuderl: Merjenje moči TRIGA reaktorja z merjenjem gladine vode .....	29
Enida Fatić: Development and Validation of a Multiphysics Coupling Framework for BME Research Reactor Analysis .....	30
Gašper Sršen: Multi-fizikalne simulacije termičnih pojavov v TRIGI .....	31
<b>V. del: Reaktorska tehnika.....</b>	<b>32</b>
Aljoša Gajšek: Analiza občutljivosti MIT modela vrenja v fuzijskih pogojih .....	33
Anej Kukovič: 3D modeliranje ohlajanja plasti razbitkov .....	34
Izak Kreuh: Vpliv modela turbulentne disperzije na porazdelitev parne faze pri vrenju v obročasti reži .....	35
Patrik Tarfila: Rast utrujenostnih razpok pri obremenitvah s spremenljivo amplitudo z uporabo metode faznega polja .....	36
Vuk Ignjatović: A Bubble Tracking Velocimetry framework for Two-Phase flow based on StarDist detections obtained from the FEDORA experiment .....	37
<b>VI. del: Medicinska fizika &amp; izobraževanje .....</b>	<b>38</b>
Pierce Ellingson: Exact Pharmacokinetic Model Identification in Nuclear Medicine with Application to Toxicology .....	39
Gabi Novak: Izdelaj in preizkusi sam: detektor ionizirajočega sevanja .....	40

**I. del:**  
**Vabljena predavanja**

# Analiza aktivacije vode po obsevanju z nevtroni

Domen Kotnik<sup>1</sup>, J. Peric<sup>1,2</sup>, D. Govekar<sup>1,2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>,  
I. Lengar<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [domen.kotnik@ijs.si](mailto:domen.kotnik@ijs.si)

Za izvedbo analiz aktivacije vode po obsevanju z nevtroni, ki predstavljajo osrednji cilj doktorske disertacije, ter za podporo projektu ITER, je bila na raziskovalnem reaktorju IJS TRIGA v Sloveniji predlagana nova obsevalna naprava z aktivirano vodo – KATANA. Gre za zaprto vodno zanko, nameščeno v in ob eksperimentalnem radialnem kanalu št. 1, ki predstavlja dobro definiran in stabilen izvor visokoenergijskih žarkov gama (6–7 MeV) in nevtronov (~1 MeV), nastalih pri aktivaciji vode. Naprava omogoča izvajanje eksperimentov, povezanih z aktivacijo vode, ter služi za kalibracijo detektorjev gama žarkov in eksperimentalno validacijo računskih metod za modeliranje časovno in prostorsko odvisnih virov sevanja, kot je tok aktivirane vode v hladilnem sistemu reaktorja. Poleg tega omogoča izboljšanje jedrskih podatkov za aktivacijo vode in testiranje materialov za ščitenje v prihodnjih fuzijskih reaktorjih. V okviru disertacije je bila naprava KATANA uspešno načrtovana, analizirana, licencirana, zgrajena in zagnana v začetku leta 2024. Predstavljena sta njena celovita analiza in karakterizacija, od idejne zasnove do izvedbe prvih eksperimentov. Končni cilj naprave KATANA je eksperimentalna validacija metod za izračun sevalnih doz okoli vodnih hladilnih zank prihodnjih fuzijskih reaktorjev (ITER, DEMO) ter vzpostavitev referenčne naprave za kalibracijo detektorjev žarkov gama pri visokih energijah. KATANA tako predstavlja edinstveno infrastrukturo, ki pomembno prispeva k razvoju fuzije kot nizkoogljčnega vira energije in podpira ključne projekte, kot je ITER.

# Vključevanje domenskega znanja v velike jezikovne modele

Gregor Pavlin Poličar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani

E-poštni naslov: [pavlin.policar@fri.uni-lj.si](mailto:pavlin.policar@fri.uni-lj.si)

Veliki jezikovni modeli (LLM) vsebujejo obsežno splošno znanje in so uporabni pri številnih jezikovnih, programerskih in analitičnih nalogah. V znanosti pa je znanje pogosto vezano na strokovne pojme, simbolne zapise, meritve, enačbe, grafe, slike, tabele ter druge strukturirane ali večmodalne podatke, ki jih standardni jezikovni modeli ne morejo neposredno obravnavati. Zato je pri njihovi uporabi v raziskovalnih okoljih eno ključnih vprašanj domenska prilagoditev: kako modelu predstaviti novo znanje iz posamezne znanstvene domene, ne glede na to, ali je zapisano v besedilu, strukturiranih podatkih ali večmodalnih virih.

Dodatno znanje je mogoče v velike jezikovne modele vključevati na več ravneh. Preprostejši pristopi ga modelu posredujejo kot del vhodnega konteksta, kar je pogosto učinkovito, kadar je znanje mogoče jasno opisati z besedilom. V znanstvenih domenah pa so pomembne informacije pogosto zapisane tudi v bolj strukturirani obliki ali pa zahtevajo natančnejšo predstavitev strokovnih pojmov, zato zgolj dodajanje konteksta ni vedno dovolj.

Osrednji poudarek je na naprednejših pristopih, pri katerih znanje vključujemo že na ravni tokenov. Ti odpirajo drugačen pogled na domensko prilagoditev: tokenizacija ni le tehnični korak pri obdelavi besedila, temveč lahko postane način, kako jezikovni model povežemo s pojmi, strukturami in podatki posamezne znanstvene domene.

# Irradiation effects on the mechanical properties of the crystalline lattice

Amirhossein Lame Jouybari<sup>1</sup>, S. El Shawish<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [Amirhossein.Lame@ijs.si](mailto:Amirhossein.Lame@ijs.si)*

Due to irradiation, the material properties of crystalline lattices undergo significant changes compared to those in their unirradiated state. Experimental observations in irradiated austenitic stainless steels and Zircaloy have shown a loss of toughness and ductility, an increase in yield stress, and a reduction in the work-hardening regime. In response, this study introduces a strain gradient crystal plasticity model to capture the irradiation-induced effects on the mechanical behavior of crystalline materials. In particular, the formation of clear channels—such as slip bands and kink bands—is investigated as two primary modes of localized plastic deformation in irradiated crystals. Furthermore, both the classical and generalized balance laws are solved using the Fast Fourier Transform (FFT)-based homogenization method, which serves as an efficient computational approach. These balance laws are explicitly coupled within the FFT framework, ensuring an accurate and consistent numerical implementation<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> A. Lame Jouybari, S. El Shawish, and L. Cizelj. "Fast Fourier transform approach to Strain Gradient Crystal Plasticity: Regularization of strain localization and size effect." *International journal of plasticity* 183 (2024): 104153.

# **II. del: Fuzija**

# Karakterizacija nevtronskega vira na zanki KATANA

Domen Romih<sup>1</sup>, J. Peric<sup>1,2</sup>, D. Kotnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [domen.romih23@gmail.com](mailto:domen.romih23@gmail.com)

Večina trenutnih fisijskih reaktorjev uporablja vodo kot hladilno sredstvo, voda pa bo imela pomembno vlogo tudi v prihodnjih fuzijskih reaktorjih. Pri zlivanju jeder devterija in tritija nastajajo visoko energijski nevtroni z energijo 14,1 MeV, ki aktivirajo izotope kisika v molekuli vode. Prek reakcije  $^{17}\text{O}(n,p)^{17}\text{N}$  nastaja izotop  $^{17}\text{N}$ , ki seva žarke gama in sekundarne nevtrone z diskretnimi energijami 0,383 MeV; 1,171 MeV in 1,700 MeV. Z namenom raziskav aktivacije vode in izboljšanja simulacijskih orodij na tem področju ter neposredne podpore projektu ITER, je bila vzpostavljena obsevalna naprava z aktivirano vodo - KATANA<sup>2</sup>. Karakterizacija jakosti nevtronskega polja zanke je bila opravljena z metodo nevtronske aktivacije različnih materialov, med drugim vzorcev indija<sup>3</sup>. Geometrijska postavitev eksperimenta obsevanja je bila simulirana z metodami Monte Carlo (program MCNP - Monte Carlo N-Particle), s katerimi sta bila izračunana nevtronski fluks in reakcijska hitrost aktivacije jeder v vzorcih. S primerjavo reakcijske hitrosti v vzorcih indija, ki je bila določena eksperimentalno oziroma prek simulacij, je bila izračunana jakost nevtronskega vira zanke KATANA.

---

<sup>2</sup>J. Peric *et al*, Fusion Engineering and Design, Vol. 216 (2025)

<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2025.115052>

<sup>3</sup>J. Włodarczyk *et al*, Plasma Phys. Control. Fusion **68** 035003 (2026)

<https://doi.org/10.1088/1361-6587/ae464f>

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Nevtronski odziv obsevalne naprave z aktivirano vodo KATANA

Julijan Peric<sup>1,2</sup>, D. Kotnik<sup>1,2</sup>, D. Govekar<sup>1,2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>,  
V. Radulović<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [julijan.peric@ijs.si](mailto:julijan.peric@ijs.si)

Obsevalna naprava z aktivirano vodo KATANA, nameščena znotraj in v okolici radialnega kanala št. 1 raziskovalnega reaktorja TRIGA na Institutu »Jožef Stefan«, je namenjena preučevanju procesov aktivacije vode, pomembnih za prihodnje fuzijske sisteme<sup>4</sup>. Aktivirana voda predstavlja vir visokoenergijskih gama žarkov in nevtronov. Zaradi kratkega razpolovnega časa ( $t_{1/2} < 10$  s) aktivacijskih produktov je njen vpliv pomemben predvsem med obratovanjem fisijskih in prihodnjih fuzijskih reaktorjev. Nevtroni predstavljajo resno tveganje za občutljive merilne naprave v okolici fuzijskih reaktorjev, saj lahko povzročijo poškodbe, zlasti v polprevodniških komponentah. Zato je nujna ustrezna zasnova zaščite okoli hladilnega sistema. Zaradi negotovosti vhodnih parametrov pri dimenzioniranju zaščite so pogosto potrebni visoki varnostni faktorji, kar vodi v neracionalno rabo virov. Pridobljeno znanje bo omogočilo znižanje varnostnih faktorjev in s tem zmanjšanje stroškov gradnje prihodnjih fuzijskih elektrarn.

---

<sup>4</sup> D. Kotnik, et. al., "KATANA - water activation facility at JSI TRIGA, Part I: Final design and activity calculations", Nuclear Engineering and Technology, 2024

# Izračuni radialne nevtronske kamere tokamaka ITER

Mark Fortuna<sup>1,2</sup>, A. Čufar<sup>2</sup>, S. Pleško<sup>2</sup>, B. Žefran<sup>2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [mark.fortuna@ijs.si](mailto:mark.fortuna@ijs.si)

Nevtronska radialna kamera (RNC) omogoča rekonstrukcijo poloidalnega profila fuzijskih reakcij v plazmi s pomočjo kolimatorjev dolžine več kot 1 m, na koncu katerih se nahajajo fisijske celice<sup>5</sup>. Cilj raziskav je določiti negotovost v vidni liniji (LOS) posameznih kolimatorjev v odvisnosti od obogatitve urana v fisijskih celicah, v tem prispevku pa predstavimo le optimizacijo izračunov s programom za stohastični transport delcev OpenMC.

Izračune smo poskusili pospešiti z metodo sprotnega računanja utežnih oken prek inverza porazdelitve fluksa (On-The-Fly), pred kratkim implementirano metodo naključnih žarkov (RandomRay) in s pristopom, pri katerem smo utežna okna izračunali iz približka adjungiranega fluksa, ki smo ga izračunali z umestitvijo nevtronskega vira na položaj detektorjev. Pri vseh treh pristopih je bilo padanje ocene statistične negotovosti z naraščanjem števila simuliranih delcev ne monotono, kar nakazuje na potencialne težave v uporabljenih utežnih oknih. Občutljivostne analize zato izvajamo brez redukcije variance na grafičnih procesorjih, kjer smo v primerjavi z 2×28-jedrnim Intel Xeon Gold 6238R dosegli pospešitev za faktor 4. Rezultati pokažejo, da klasične strategije redukcije variance za geometrije kolimatorjev, kot so v ITER RNC, niso nujno učinkovite in da je v takšnih primerih neposredno paralelno računanje na GPU bolj praktična pot.

---

<sup>5</sup> B. Esposito, et. al. *Progress of Design and Development for the ITER Radial Neutron Camera*. J Fusion Energ 41, 22 (2022), [DOI 10.1007/s10894-022-00333-9](https://doi.org/10.1007/s10894-022-00333-9)

# Hitrost doze po zaustavitvi v tokamaku JET

Ylenia Kogovšek Žiber<sup>1,2</sup>, K. Ambrožič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [ylenia.ziber@ijs.si](mailto:ylenia.ziber@ijs.si)

Hitrost doze po zaustavitvi je ključnega pomena za zagotavljanje varnosti osebja med vzdrževalnimi deli ter za varno razgradnjo reaktorja. Hitrost doze po zaustavitvi (angl. shutdown dose rate, SDDR) je posledica razpada aktiviranih materialov in emisije zakasnelih žarkov gama. V tem prispevku bomo obravnavali devterij-tritijeva kampanjo iz leta 2021 na tokamaku Joint European Torus (JET)<sup>6</sup>, z namenom primerjave numeričnih rezultatov hitrosti doze po zaustavitvi z eksperimentalnimi meritvami.

Izračune smo izvedli s kodo JSIR2S<sup>7</sup>, razvito na Inštitutu Jožef Stefan, ki temelji na rigorozni dvostopenjski metodi (R2S) ter povezuje transportni program MCNP z inventarno kodo FISPACT. Metoda R2S<sup>8</sup> izvaja transport delcev v dveh korakih: v prvem koraku izvedemo transport nevtronov in izračun aktivacije materialov, v drugem koraku pa transport zakasnelih fotonov.

Rezultati SDDR, ki smo jih izračunali s kodo JSIR2S, dosegajo vrednosti razmerja C/E med  $(0.75 \pm 0.08)$  in  $(1.4 \pm 0.07)$  za čase do 29 dni po zaustavitvi fuzijskega reaktorja, kar nakazuje dobro ujemanje numeričnih rezultatov z eksperimentalnimi meritvami.

---

<sup>6</sup> K. Ambrožič, L. Snoj, "Modeling of  $\gamma$  field around irradiated TRIGA fuel elements by R2S method", ICRS-13 & RPSD-19 (ANS), Volume 153, 2017

<sup>7</sup> K. Ambrožič, L. Snoj, "Modeling of  $\gamma$  field around irradiated TRIGA fuel elements by R2S method", ICRS-13 & RPSD-19 (ANS), Volume 153, 2017

<sup>8</sup> Y. Chen, U. Fischer, "Rigorous MCNP based shutdown dose rate calculations: Computational scheme, verification calculations and application to ITER", Fusion Eng. Des., 63, 107-114, 2002

# **III. del:**

# **Reaktorska fizika**

# Genetski algoritem za optimizacijo nevtronskih filtrov

Blaž Levpušček<sup>1,2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [blaz.levpuscek@ijs.si](mailto:blaz.levpuscek@ijs.si)

Transmisijske matrike opisujejo, kako posamezne plošče materialov modificirajo spekter nevtronskega fluksa<sup>9</sup>. V tem delu predstavljamo genetski algoritem (GA), ki podatkovno bazo transmisijskih matrik uporabi za iskanje optimalnega nevtronskega filtra. Algoritem za vsak predlagan filter oceni izhodni nevtronski spekter z zaporednim množenjem transmisijskih matrik. Takšno matrično množenje lahko oceni nevtronski spekter na časovni skali milisekund, kar je rede velikosti bolj učinkovito od Monte Carlo izračunov, ki za takšne primere trajajo od nekaj minut do ur. Za kompenzacijo sistematičnih odstopanj je uporabljena zunanja iteracijska zanka: po vsaki iteraciji GA se zahtevani spekter popravi z razmerjem med MCNP (izračunan) in GA (določen) spektrom za predviden optimalen filter. Na treh testnih primerih smo pokazali, da takšna zanka zmanjša vrednost cenilne funkcije in s tem najde nevtronske filtre, ki so bližje zahtevanim. Sedanja implementacija temelji na transmisijskih matrikah, definiranih za nevtronski fluks brez kotne diskretizacije, in uporablja preprosto zaporedno množenje matrik za zlaganje materialov.

---

<sup>9</sup> B. Levpušček, V. Radulović, L. Snoj, "Development of a Transmission Matrix Database for Neutron Flux Spectrum Shaping in Research Reactors", NENE, Bled, 2025.

# Uporaba UI za načrtovanje sredice DARWIN-a

Anže Mihelčič<sup>1, 2</sup>, L. Snoj<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [anze.mihelcic@ijs.si](mailto:anze.mihelcic@ijs.si)

Hitro spreminjajoč svet in izzivi, ki se pojavljajo (predvsem vremenske spremembe in ekstremni vremenski dogodki) zahtevajo prilagodljive rešitve. Razvoj Prilagodljivega reaktorja z izmenljivimi komponentami DARWIN (Dispatchable Adaptive Reactor With Interchangeable compoNents) predstavlja tako rešitev.

Sredica reaktorja predstavlja primarni modul, ki se bo sklapljal z enim ali več sekundarnimi modul, ki bodo skupaj služili za posamezno aplikacijo (črpanje vode, daljinsko ogrevanja ali hlajenje, proizvodnja radioizotopov, itd.). Sredico sestavljajo različni izmenljivi elementi, ki morajo biti optimizirani za specifično uporabo.

Ena izmed možnosti optimiziranja je uporaba genetskega algoritma, ki je tip umetne inteligence. Genetski algoritem meša gene (lastnosti sredice: vrsta goriva, obogatitev, razmik med palicami, itd.) med »osebki«, ki imajo najboljše rezultate ( $k_{\text{eff}}$ , konične faktorje moči, dolžino gorivnega cikla, itd.).

V prispevku bo prikazan primer uporabe genetskega algoritma za iskanje sredice z najvišjo vrednostjo efektivnega pomnoževalnega faktorja  $k_{\text{eff}}$ . Uporaba bo omejena na MOX gorivo, spreminjanje temperature goriva in moderatorja, koncentracije bora ter U obogatitve in deleža  $\text{UO}_2$  v gorivu.

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Avtomatizacija postopka generiranja MCNP modela sredice NEK

Benjamin Barbarič<sup>1</sup>, T. Goričanec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [benjamin.barbaric@ijs.si](mailto:benjamin.barbaric@ijs.si)

Avtomatizacija McCord (AutoMcCord) predstavlja osrednji del priprave MCNP modelov Jedrske elektrarne Krško, saj povezuje deterministične izračune sredice s paketom CORD-2 in podrobne transportne izračune v programu MCNP. Namen avtomatiziranega postopka je pohitriti pripravo vhodnih datotek, povečati ponovljivost izračunov ter zagotoviti sledljiv prenos ciklično odvisnih podatkov, kot so porazdelitve moči, izotopske sestave goriva, koncentracija bora, gostote materialov in temperature materialov. Postopek se začne z izbiro gorivnega cikla in sredice in začetnim izračunom CORD-2. Ti rezultati služijo kot osnova za pripravo MCNP modela. Paket AutoMcCord najprej preveri prisotnost potrebnih datotek, nato sproži izdelavo MCNP modela in njegovo dodatno obdelavo. Sledi avtomatiziran zagon MCNP izračuna na gruči Skuta. Po končanem izračunu se iz rezultatov izdelata posodobljena deterministična vhodna datoteka in ponovno zažene del determinističnega izračuna. Skripta nato datoteko preimenuje in shrani glede na iteracijo. Celoten proces je iterativen, saj se porazdelitev vira, temperature in drugi podatki po potrebi posodabljujejo do konvergence. Običajno je za izdelavo končnega modela potrebno tri do osem iteracij, preverjanje konvergence pa v trenutni verziji poteka ročno.

# Termično sipanje nevtronov v cirkonijevem hidridu: primerjava pristopov procesiranja

Ingrid Švajger<sup>1</sup>, A. Trkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [ingrid.svajger@ijs.si](mailto:ingrid.svajger@ijs.si)

Prispevek obravnava primerjavo različnih pristopov za generiranje podatkov termičnega sipanja nevtronov v cirkonijevem hidridu (ZrH), ki je pomemben moderatorski material v termičnih jedrskih reaktorjih, zlasti v TRIGA reaktorjih. Termični sipalni preseki so opisani s termičnim sipalnim zakonom  $S(\alpha, \beta)$ , ki temelji na vibracijskih lastnostih kristalne strukture materiala.

V raziskavi so bili podatki za  $\delta$ - in  $\epsilon$ -fazo ZrH pripravljene z uporabo treh programskih orodij: NJOY (LEAPR), CINEL in NCrystal. V vseh primerih je bila uporabljena enaka fononska gostota stanj, pridobljena z ab initio izračuni, kar omogoča neposredno primerjavo vpliva različnih metod procesiranja jedrskih podatkov. Rezultati kažejo zelo dobro ujemanje med vsemi pristopi pri neelastičnem sipanju nevtronov, medtem ko se razlike pojavijo predvsem pri elastičnem sipanju zaradi vključitve koherentnega elastičnega sipanja v CINEL in NCrystal. Za validacijo so bili uporabljeni izbrani benchmark primeri iz ICSBEP priročnika. Rezultati kažejo, da imajo razlike med uporabljenimi modeli razmeroma majhen vpliv na integralne parametre kritičnosti.

Dodatno je bil analiziran tudi vpliv pretvorbe podatkov v ACE format za Monte Carlo simulacije. Primerjava med NJOY (ACER) in ACEMAKER je pokazala, da lahko izbira incidentne energijske mreže in interpolacijskih postopkov pomembno vpliva na rezultate simulacij.

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Propagacija negotovosti iz jedrskih podatkov na parametre sredice NEK

Jan Malec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [jan.malec@ijs.si](mailto:jan.malec@ijs.si)

Jedrska regulativa se zaradi optimizacije delovanja premika iz pristopa velikih varnostnih rezerv na natančnejšo oceno negotovosti. Nekateri simulatorji sredice, kot je CORD-2, sami po sebi ne omogočajo ocene negotovosti. Zato v tem delu na primeru sredice Jedrske elektrarne Krško (NEK) predstavljamo neintruzivno metodologijo za njeno določitev. Pristop temelji na stohastičnem vzorčenju mikroskopskih jedrskih podatkov, kot so reakcijski preseki in cepitveni donosi, ki se nato propagirajo skozi izračune na statične parametre sredice. Poleg določitve končne negotovosti rezultatov nam metodologija omogoča tudi občutljivostno analizo, ki jo izvedemo neposredno iz vzorčenih podatkov z uporabo linearne regresije<sup>10</sup> ali z izračunom Sobolovih indeksov. Analiza variance statičnih parametrov je pokazala, da negotovost kritične koncentracije bora pri vročem ničelnem stanju (HZP) prevladujoče določa izotop <sup>235</sup>U, medtem ko pri parametrih, ki so odvisni od izgorevanja (na primer dolžina cikla), močno naraste vpliv nastalega <sup>239</sup>Pu.

---

<sup>10</sup> J. Malec idr., "Non-intrusive simultaneous calculation of nuclear data sensitivity and uncertainty of core simulator parameters for the full-scale Krško NPP core model", Progress in Nuclear Energy 189, 2025

# Uporaba idealiziranih jedrskih podatkov v simulacijah

Jan Kokot<sup>1</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [jankokot60dr@gmail.com](mailto:jankokot60dr@gmail.com)

Moderacija nevtronov je temeljni pojem v jedrski in reaktorski fiziki, ki se v pedagoškem okolju pogosto obravnava z uporabo poenostavljenih modelov. Ti običajno predpostavljajo statične, nevezane nuklide in zanemarjajo vplive molekulske ali kristalne strukture, kar lahko vodi do odstopanj od realnega fizikalnega obnašanja. Z namenom validacije metod za stohastični opis transporta nevtronov z analitičnimi rešitvami upočasnjevanja nevtronov smo razvili orodje VERITAS (Visual Explorer for Real vs. Idealized neutron Transport and Analytic Solutions), ki omogoča enostavno primerjavo poenostavljenih modelov moderacije s simulacijami v okolju OpenMC. VERITAS temelji na knjižnici PYDECS<sup>11</sup>, ki omogoča definiranje poljubnih nuklidov z nastavljivimi preseki za sipanje, absorpcijo in cepitev, ter hkrati podpira uporabo realnih jedrskih podatkov knjižnice ENDF/B-viii.1 za moderatorje nevtronov, kot so vodik, voda, težka voda, berilij, grafit in svinec. Uporabnik lahko analizira različne procese prisotne v nevtronskih interakcija, kot so upočasnjevanje nevtronov do termičnih energij, sipanje s prirastkom energije, absorpcijo in pobeg nevtronov. Posledice teh procesov kot so nevtronski spektri, proste poti nevtronov, logaritmično znižanje energije in časovne spektre nevtronov lahko v VERITASU prikažemo s grafi. Orodje tako omogoča intuitivno vizualizacijo in kvantitativno primerjavo vpliva poenostavitev na proces moderacije ter služi kot učni pripomoček in uvod v uporabo Monte Carlo simulacij v jedrski fiziki.

---

<sup>11</sup> Povzeto po fortran kodi IDECS avtorja doc. dr. Lucijana Plevnika

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Izračun fizikalnih parametrov dvotočkovnega modela jedrskega reaktorja s programom OpenMC

Jure Pospišil<sup>1</sup>, A. Mihelčič<sup>1,2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [jure.pospisil@gmail.com](mailto:jure.pospisil@gmail.com)

Dvotočkovni model jedrskega reaktorja lahko učinkovito opiše časovni odziv reaktorja na spremembe reaktivnosti ter hkrati kvalitativno zajame ključne prostorske učinke, ki nastajajo pri uravnavanju moči s kontrolnimi palicami, kot so oscilacije v koncentraciji  $^{135}\text{Xe}$ . Tak model omogoča zanesljivo podporo obratovanju v načinu sledenja bremenu, saj napove razvoj koncentracij fisijskih produktov ter temperature goriva in hladila v obeh delih sredice ter njihov vpliv na reaktivnost, kar omogoča pravočasno in ustrezno kompenzacijo<sup>12</sup>.

Za uporabo takšnega modela je ključno natančno poznati parametre reaktorske kinetike (povprečen generacijski čas nevtronov  $\Lambda$ , delež zakasnelih nevtronov  $\beta$ , temperaturni koeficient reaktivnosti hladila  $\alpha_c$  in goriva,  $\alpha_f$ , ...) za izbrani reaktor, s katerimi se lahko določi sklopitev med polovicama. V prispevku bo predstavljen izračun teh parametrov z uporabo odprtokodnega programa za stohastični transport nevtronov OpenMC na primeru malega modularnega reaktorja NuScale.

---

<sup>12</sup>Anže Mihelčič, 2023, *Odziv jedrskega reaktorja v načinu sledenja bremenu: magistrsko delo.*

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Občutljivostna analiza generičnega zabojnika za izrabljeno jedrsko gorivo

Gašper Letnar<sup>1</sup>, M. Kromar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [gaper.letnar@gmail.com](mailto:gaper.letnar@gmail.com)

Pomemben vidik pri načrtovanju dolgoročnih rešitev<sup>13</sup> za odlaganje izgorelega jedrskega goriva je zagotavljanje dolgoročne podkritičnosti izrabljenega goriva v odlagalnem zabojniku. Predstavljeni so rezultati analize občutljivosti pomnoževalnega faktorja generičnega zabojnika za izrabljeno jedrsko gorivo<sup>14</sup> na relevantne modelske parametre, kot so položaj gorivnega elementa znotraj zabojnika, debelina ločevalne stene, gostota vode, razmik mreže gorivnih palic ter degradacija nerjavnega vsebnika.

Analiza vključuje sveže gorivo z obogatitvami 2 %, 3 %, 4 % in 5 % ter dva različna tipa goriva, in sicer 17x17 in 16x16. Tridimenzionalni transportni izračuni nevtronov s homogeno porazdelitvijo goriva so izvedeni z Monte Carlo programom Serpent2 ob uporabi dveh različnih knjižnic jedrskih podatkov: ENDF/B-VII.1 in ENDF/B-VIII.1.

---

<sup>13</sup> Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), Long-term Safety for the Final Repository for Spent Nuclear Fuel at Forsmark (SR-Site report), Stockholm: SKB, 2011,

<sup>14</sup> EURAD-2 WP17, Reference Model Specification for Task 5 (Subtasks 5.1 & 5.3), Version 6.2.0/6.2.1, EURAD-2 Project, 2026.

# Antisnov kot nosilec energije

Ana Mištrafovič<sup>1</sup>, L. Snój<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [am88621@student.uni-lj.si](mailto:am88621@student.uni-lj.si)

Antisnov ima najvišjo možno specifično energijo (180 MJ/μg), saj se ob anihilaciji celotna mirovna masa antidelca in delca pretvori v energijo v skladu z Einsteinovo enačbo  $E = 2mc^2$ . Pridobivanje in shranjevanje antidelcev poteka samo v CERN-u. Le-te shranijo v Penning-Malmbergovi pasti, kjer je gostota plazme navzgor omejena z Brillouinovo limito<sup>15</sup>. Za bistveno povečanje gostote shranjevanja antisnovi se kot perspektivna možnost omenja Bose-Einsteinov kondenzat (BEK) iz antivodika. Shranjevanje vodika v BEK pri gostotah do  $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  je že bilo doseženo<sup>16</sup>. BEK iz antivodika ostaja cilj prihodnosti, ki bi omogočil skok v energijski gostoti za več velikostnih redov v primerjavi s trenutnimi pastmi. Proizvodnja energije bi potekala z zajetjem visoko energijskih fotonov, ki nastanejo pri anihilaciji, v svincu. Svinec bi hladili s hladilom, ki bi nato poganjalo turbino. Antisnov je posebej primerna za shranjevanje energije tam, kjer je ključna visoka energijska gostota (pri vesoljskih poletih, v gosto naseljenih območjih). Ekonomska upravičenost takšnih sistemov je smiselna zaradi pojava negativnih cen elektrike<sup>17</sup>, ki nastajajo kot posledica presežkov nestalnih in vremensko odvisnih obnovljivih virov energije.

---

<sup>15</sup> J. Fajans in C. M. Surko. "Plasma and trap-based techniques for science with antimatter", <https://doi.org/10.1063/1.5131273>

<sup>16</sup> M. M. Nieto, M. H. Holzscheiter in T. J. Phillips. "Dense antihydrogen: its production and storage to envision antimatter propulsion", <https://doi.org/10.1088/1464-4266/5/6/001>

<sup>17</sup> Y. Yang, G. Raman in K. Chih-Hsien Peng. "Shaping residential electricity demand with negative pricing", <https://doi.org/10.1038/s41560-025-01901-x>

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Proizvodnja radionuklidov v fisijskih in fuzijskih reaktorjih

Katja Šimenc<sup>1</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [k.simenc8@gmail.com](mailto:k.simenc8@gmail.com)

Obravnavamo produkcijo radionuklidov z nevtronsko aktivacijo v termalnem, hitrem in fuzijskem nevtronskem spektru. Za izračun aktivnosti uporabimo aktivacijsko izgorevalni model, ki upošteva reakcijski presek, nevtronski fluks in razpad produktnih nuklidov.

Aktivnosti izbranih radionuklidov primerjamo za tri različne tipe reaktorjev ob enakem času obsevanja. Rezultati pokažejo, da so aktivnosti za večino izotopov največje v termalnem spektru, saj imajo reakcijski preseki pri nizkih energijah večje vrednosti. Pri fuzijskem spektru so aktivnosti kljub visokemu fluksu praviloma manjše. Izjema so reakcije tipa (n, p), ki so ugodnejše pri višjih energijah nevtronov.

Iz rezultatov sledi, da ima energijska odvisnost reakcijskega preseka ključno vlogo pri produkciji radionuklidov in pomembno vpliva na izbiro primernega nevtronskega spektra.

# Kontrola reaktivnosti večnamenskega mikroreaktorja

Katerina Paskova<sup>1</sup>, T. Goričanec<sup>1,2</sup>, A. Trkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [p.kate@outlook.com](mailto:p.kate@outlook.com)

V okviru analize lastnosti večnamenskega mikroreaktorja z UZrH gorivom smo preučevali vpliv različnih načinov kratkoročne kontrole reaktivnosti. Raziskali smo učinkovitost kontrolnih palic, bobnov in plošč ter njihovo smiselnost v omejenem prostoru, ki je posledica majhnih dimenzij mikroreaktorja. Primerjali smo njihove prednosti in slabosti. Cilj analize je določiti najugodnejšo rešitev za zasnovano sredico, ki bo omogočala zadosten vnos negativne reaktivnosti za varno zaustavitev reaktorja.

Izračuni so bili izvedeni za tri sredice, v katerih so vsi gorivni elementi enaki, z enako vrsto goriva (sveže gorivo z enako obogatitvijo) in brez gorljivih absorberjev. Modele smo pripravili s pomočjo Monte Carlo transportnega programa OpenMC in izračune izvedli z uporabo knjižnice ENDF/B-VIII.1. Preverili smo delovanje različnih absorberjev v kontrolnih palicah ter materialov v bobnih. Nato smo analizirali še vpliv posameznih načinov kontrole na porazdelitev nevtronskega fluksa in hitrosti cepitve v sredici, s čimer smo dobili boljši vpogled v njihovo obnašanje in delovanje. Na koncu smo se odločili, kateri način je najprimernejši za nadaljnje preračune in analize obravnavanega primera sredice.

# Validacija programa OpenMC na referenčnih eksperimentih reaktorja IJS TRIGA Mark II

Matic Krašovic<sup>1</sup>, A. Pungerčič<sup>1,2</sup>, L. Snoj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [mk47446@student.uni-lj.si](mailto:mk47446@student.uni-lj.si)

Validirani računski modeli jedrskih reaktorjev predstavljajo osnovo reaktorskih preračunov za varnostne analize, eksperimentalno podporo in raznovrstne raziskave. Prispevek predstavlja validacijo najnovejšega Monte Carlo programa OpenMC<sup>18</sup> na različnih referenčnih eksperimentih<sup>19,20</sup> reaktorja TRIGA. Računski model reaktorja TRIGA v OpenMC smo validirali s primerjavo z eksperimenti in z izračuni, opravljenimi z referenčnim programom MCNP. Analizirali smo tri različne eksperimente, ki se razlikujejo v geometriji in izmerjenimi količinami. Primerjali smo integralne parametre: izračune kritičnosti in porazdelitve nevtronskega fluksa, merjenega z aktivacijo dozimetrijskih folij (Au+Al) in odziva miniaturnih fisijskih celic. Vse tri simulacije z OpenMC-jem so pokazale zelo dobro ujemanje s pridobljenimi rezultati z referenčnim programom MCNP kot tudi z eksperimentalnimi primerjalnimi podatki. Rezultati posledično kažejo na to, da narejeni model OpenMC natančno opiše geometrijo reaktorja in materiale ter se v prihodnosti lahko uporabi za raznovrstne raziskave.

---

<sup>18</sup> Romano, P., OpenMC, *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 82, pp. 90-97, 2015

<sup>19</sup> Jeraj and Ravnik, "IEU-COMP-THERM-003," in ICSBEP, NEA 7328, Paris, 2016

<sup>20</sup> Štancar et al., "TRIGA-FUND -RESR-002," in IRPhE, NEA 7329, Paris, 2017

# **IV. del:**

# **Multifizika**

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Kvalificiranje eksperimentalne naprave za merjenje temperaturnega polja v reaktorju TRIGA

Simon Lončarič<sup>1,2</sup>, K. Ambrožič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [loncaric.sl@gmail.com](mailto:loncaric.sl@gmail.com)

V času hitrega razvoja računalniških orodij je eksperimentalno delo pogosto zapostavljeno, čeprav je ključno za validacijo računalniških modelov. Pridobivanje eksperimentalnih podatkov ni trivialno, kar ponazarja navidezno preprost primer merjenja temperature v sredici in bazenu reaktorja TRIGA (projekt EVEREST, GA št. 101163288). Pred meritvami je bilo treba pregledati obstoječe delo<sup>21</sup> ter nadgraditi eksperimentalno postavitev. Vse spremembe so bile usklajene z operaterji in SVPIS ter preverjene pred izdelavo komponent. Sledila je validacija merilne instrumentacije z odsekom R4, s čimer se je zagotovila ustreznost merilnega sistema. Izpolniti je bilo treba tudi dokument RIC-QA-940, ki določa postopke za posege v prostorih reaktorja TRIGA, vključno z varnostnim presejanjem, pridobitvijo soglasij pristojnih služb (SVPIS, SVZD, QA) ter obveščanjem URSJV glede na klasifikacijo spremembe. Celoten proces je dokumentiran s standardiziranimi obrazci, delovnim nalogom in dnevnikom del.

---

<sup>21</sup> HENRY, Romain, *Neutronic and thermal-hydraulics coupling for simulations of the TRIGA Mark II reactor*, FMF UL, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=99045>, Ljubljana, 2017

# Merjenje moči TRIGA reaktorja z merjenjem gladine vode

Domen Šnuderl<sup>1</sup>, K. Ambrožič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [domen.snuderl@ijs.si](mailto:domen.snuderl@ijs.si)

Raziskovalni reaktorji so osnovno orodje za razvoj in preveritev novih merskih in računskih metod, kjer je nujno natančno poznavanje moči reaktorja. Predvsem pri reaktorjih bazenskega tipa, hlajenih z naravno konvekcijo je primerni odčitek moči preko odziva izven-središčnih detektorjev sevanja, kjer pa odčitki lahko od realnosti odstopajo tudi več kot 15 % zaradi prerazporeditve profila moči, spremembe v položaju detektorja in drugih dejavnikov. S tako veliko negotovostjo je oteženo zanesljivo ovrednotenje fizikalnih pojavov, kot so sklopitve termohidravlike in nevtronike, validacija računskih modelov ter analiza obratovalnih stanj reaktorja. Zato je cilj razviti metodo oziroma merski sistem, ki bo to negotovost bistveno zmanjšal in omogočil natančnejše ter bolj ponovljive meritve reaktorske moči.

Termična kalibracija navadno poteka preko merjenja spremembe temperature vode v času, se pa te meritve navadno izvajajo na enem mestu, ki je podvrženo potencialnim temperaturnim fluktuacijam. Da se temu izognemo, predlagamo integralno meritev temperature vode preko njenega raztezka in posledično dviga gladine v bazenu, ki v primeru obratovanja reaktorja na polni moči IJS TRIGA dvigne nivo vode nekaj cm/h.

Ker je natančno poznavanje moči reaktorja ključno za zmanjševanje merilne negotovosti, v sklopu projekta EVEREST razvijamo sistem za merjenje gladine vode za določanje moči reaktorja. Segrevanje vode povzroči raztezanje in dvig gladine, kar pripomore določitvi toplotne moči reaktorja. Preizkusili smo kapacitativne, diferenčne tlačne in optične metode ter temperaturne senzorje za kompenzacijo vplivov okolice. Razviti pristop omogoča neinvazivno integralno meritev temperature vode kot alternativo klasični termični kalibraciji reaktorja.

# Development and Validation of a Multiphysics Coupling Framework for BME Research Reactor Analysis

Enida Fatić<sup>1,2</sup>, K. Ambrožič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut “Jožef Stefan”, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

<sup>2</sup>*Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [ef07159@student.uni-lj.si](mailto:ef07159@student.uni-lj.si)*

This work presents the development of a coupled multi-physics framework for the analysis of the BME Training Reactor within the EVEREST project (Experiments for Validation and Enhancement of the REactor preSSure vessel fluence assessmentT). The objective of the work is to improve high-fidelity prediction of reactor neutronic and thermal-hydraulic behaviour under natural circulation conditions.

The developed framework couples the Monte Carlo neutron transport code OpenMC with a custom-developed quasi-steady-state FEM thermal-hydraulic solver. The thermal-hydraulic model is based on a 2.5D subchannel-like approach capable of resolving heat transfer and coolant flow distribution inside reactor fuel assemblies under buoyancy-driven flow conditions. Temperature-dependent material properties are evaluated during the coupling iterations to account for thermal feedback effects. Power distributions obtained from OpenMC are mapped onto the thermal-hydraulic mesh, while updated the coolant density and temperature fields are transferred back to the neutronic model during iterative coupling calculations.

The developed methodology represents a step toward high-fidelity coupled analysis tools for research reactor applications and future multi-physics studies involving natural circulation and reactor irradiation conditions.

# Multi–fizikalne simulacije termičnih pojavov v TRIGI

Gašper Sršen<sup>1,2</sup>, K. Ambrožič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut “Jožef Stefan”, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

<sup>2</sup>*Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [gasper.srsen@ijs.si](mailto:gasper.srsen@ijs.si)*

Napredek v računskih zmogljivostih omogoča hitre izračune simulacij. Na področju reaktorske fizike pa rezultati ne konvergirajo k eksperimentalnim vrednostim. Računske kode, razvite v preteklosti, vsebujejo predpostavke, teh nismo bili zmožni natančno identificirati zaradi visokih negotovosti simulacij. Z večanjem računske moči se negotovosti simulacij zmanjšujejo ter postaja vpliv nepopolnega modeliranja fizike relativno vedno večji.

S pomočjo združitve več simulacijskih programov nameravamo narediti natančnejši model IJS TRIGA reaktorja, ki poleg transporta nevtronov simulira tudi termo-mehaniko, ter termo-hidravliko, in sicer: temperaturno raztezanje in prevajanje toplote v gorivnih palicah, ter naravno konvekcijo vode znotraj bazena, v katerem je sredica reaktorja. Združitev simulacij v eno omogoča natančnejše modeliranje, kot neodvisno obravnavanje vsakega pojava posebej.

Natančnost multi–fizikalnih simulacij IJS TRIGA reaktorja bomo primerjali z meritvami, ki so načrtovane v bližnji prihodnosti. Nameravamo simulacijsko kvantificirati vplive različnih fizikalnih pojavov ter jih primerjati z eksperimentalno pridobljenimi vrednostmi. Poleg reaktorja TRIGA bomo enak model ponovili za enega izmed naslednjih reaktorjev: BME, BRR, NEK. Multi–fizikalne simulacije bodo v prihodnosti ključna podlaga za nadaljnji razvoj reaktorske fizike in jedrske tehnike.

**V. del:**  
**Reaktorska tehnika**

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Analiza občutljivosti MIT modela vrenja v fuzijskih pogojih

Aljoša Gajšek<sup>1,2</sup>, M. Tekavčič<sup>1</sup>, B. Končar<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [aljosa.gajsek@ijs.si](mailto:aljosa.gajsek@ijs.si)

MIT (Massachusetts Institute of Technology) model vrenja je fizikalno osnovan model, ki opisuje vrenje z ločenim obravnavanjem prispevkov prisilne konvekcije, izhlapevanja in drsenja mehurčkov po greti steni<sup>22</sup>. Prenos toplote modelira glede na eksperimentalno izmerljive parametre vrenja kot so velikost mehurčkov, njihovo število in frekvenca nastajanja.

V prejšnjih delih<sup>23</sup> smo pokazali prednosti uporabe MIT modela pri pogojih, značilnih za hladilne sisteme fuzijskega reaktorja: visoke hitrosti hladila, visoki toplotni tokovi in nizke temperature hladila.

Ker so parametri vrenja v fuzijskih pogojih slabo poznani, v tem delu predstavljamo rezultate analize občutljivosti MIT modela na izbrane vrelnne parametre. Te bomo v prihodnje določili z eksperimentom FEDORA<sup>24</sup> (Fusion Experiment for Divertor Optimization Research Application) na IJS.

---

<sup>22</sup> R. Kommajosyula, Development and assessment of a physics-based model for subcooled flow boiling with application to CFD, 2020, PhD thesis

<sup>23</sup> Končar et al. Investigation of Wall Boiling Models for Fusion-Relevant High Heat and Mass Flux Flow Conditions, 2026, 10.1016/j.jheatmasstransfer.2025.127707

<sup>24</sup> Gajšek et al. Boiling flow visualization experiment scaled to divertor cooling conditions, 2025, 10.1016/j.fusengdes.2025.115188

# 3D modeliranje ohlajanja plasti razbitkov

Anej Kukovič<sup>1</sup>, J. Kokalj<sup>1</sup>, M. Uršič<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [ak5994@student.uni-lj.si](mailto:ak5994@student.uni-lj.si)

Težke nesreče v lahkovodnih reaktorjih lahko privedejo do talitve sredice. Talina lahko pretali reaktorsko posodo in se izlije v reaktorsko votlino poplavljen z vodo. Ko talina pride v stik z vodo, se formirajo razbitki. Cilj obvladovanja težke nesreče v tem primeru je zagotavljati učinkovito hlajenje razbitkov taline.

Za analizo ohlajanja plasti razbitkov so bili na eksperimentalni napravi FLOAT inštituta IKE Univerze v Stuttgartu v Nemčiji, izvedeni eksperimenti pri različnih začetnih in robnih pogojih<sup>25</sup>. V naših raziskavah se osredotočamo na eksperimente s poplavljanjem razbitkov iz zgornje strani ter opcijskim vpihovanjem zraka iz spodnje strani.

Za modeliranje eksperimentov smo uporabili program MC3D (ASNR, Francija). Kot prvi smo pripravili simulacijski model v 3D cilindrični geometriji, kar nam je omogočilo podroben opis procesov pri ohlajanju razbitkov. Prednost uporabe 3D mreže z natančno definiranimi začetnimi in robnimi pogoji, je opazovanje asimetrij toka vode in pare ter njihovo primerjavo z eksperimentom.

---

<sup>25</sup> M. Petroff, R. Kulenovic in J. Starflinger, "Experimental Investigation on Debris Bed Quenching with Additional Non-Condensable Gas Injection", Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science, 8(4), 2022.

*13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,*

# **Vpliv modela turbulentne disperzije na porazdelitev parne faze pri vrenju v obročasti reži**

Izak Kreuh<sup>1,2</sup>, M. Tekavčič<sup>1</sup>, B. Končar<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut “Jožef Stefan”, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

<sup>2</sup>*Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [izak.kreuh@ijs.si](mailto:izak.kreuh@ijs.si)*

Pri modeliranju vrenja z dvofluidnim modelom moramo uvesti dodatne modele za prenos mase, gibalne količine in energije med kapljevino in paro. V tem prispevku nas zanima predvsem model sile turbulentne disperzije, ki ponazarja vpliv turbulentnih vrtincev v tekoči fazi na porazdelitev razpršene parne faze oz. mehurčkov<sup>26</sup>. Z odprtokodnim programskim orodjem za simulacije računske dinamike tekočin OpenFOAM smo naredili simulacijo vrenja hladila v majhnem izseku navpične obročaste reže z velikostjo 2 mm. Simulacija je zasnovana na testni sekciji v laboratoriju THELMA na odseku R4, IJS, ki ponazarja vrenje okoli gorivne palice v jedrskem reaktorju. V našem prispevku smo primerjali vpliv različnih modelov sile turbulentne disperzije na radialno porazdelitev parne faze.

---

<sup>26</sup> N. Shaparia, U. Pelay, D. Bougeard, A. Levasseur, N. François, S. Russeil, Investigation of Wall Boiling Closure, Momentum Closure and Population Balance Models for Refrigerant Gas–Liquid Subcooled Boiling Flow in a Vertical Pipe Using a Two-Fluid Eulerian CFD Model, *Energies* 17 (2024), 4225.  
<https://doi.org/10.3390/en17174225>

# Rast utrujenostnih razpok pri obremenitvah s spremenljivo amplitudo z uporabo metode faznega polja

Patrik Tarfila<sup>1,2</sup>, O. C. Garrido<sup>1</sup>, M. Uršič<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: [patrik.tarfila@ijs.si](mailto:patrik.tarfila@ijs.si)

Pri obratovanju jedrskih elektrarn se lahko pojavijo razpoke, ki sčasoma zrastejo in s tem privedejo do puščanja. Na hitrost njihove rasti vpliva več dejavnikov, kot na primer amplituda obremenitve, hitrost obremenitve in izbira strukturnega materiala. Z nastankom razpok je tako ogrožena strukturna integriteta in s tem jedrska varnost elektrarne, zato je pomembno razumeti in modelirati njihovo rast. Za modeliranje rasti smo izbrali metodo faznega polja (MFP), ki temelji na regularizirani Griffithovi teoriji lomne mehanike. Ta razpoko ne modelira diskretno, ampak jo definira zvezno skozi prostor in s tem predstavlja poškodovano/nepoškodovano stanje materiala. Vpliv utrujanja je dodan s funkcijo degradacije zaradi utrujanja (angl. *Fatigue degradation function*), ki omogoča akumulacijo poškodb skozi čas. Diskretizacija MFP je izvedena z metodo končnih elementov v programu Abaqus.

Prikazali bomo odziv pri bolj kompleksnih obremenitvah s spremenljivo amplitudo, pri čemer smo uporabili elastoplastični materialni model z izotropnim in kinematičnim utrjevanjem. Rezultati vsebujejo polja deformacij in napetosti ter dolžine razpok v odvisnosti od števila ciklov.

# **A Bubble Tracking Velocimetry framework for Two-Phase flow based on StarDist detections obtained from the FEDORA experiment**

Vuk Ignjatović<sup>1</sup>, M. Tekavčič<sup>1</sup>, G. Kozmus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut “Jožef Stefan”, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [vuk.ignjatovic05@gmail.com](mailto:vuk.ignjatovic05@gmail.com)*

Accurate experimental validation of Computational Fluid Dynamics (CFD) models is essential for predicting divertor performance in fusion reactors, where extreme operating conditions make direct measurement impractical. This work presents a non-invasive optical validation methodology based on a newly developed Bubble Tracking Velocimetry (BTV) framework, designed to extract bubble velocity data from high-speed recordings of two-phase liquid flows under fusion relevant conditions. The BTV pipeline integrates the StarDist deep learning model for bubble detection with the Norfair multi-object tracking library, converting detections into consistent trajectories and computing velocimetry data at the individual bubble level. Tracking results are embedded directly into video recordings, enabling intuitive comparison with CFD predicted flow fields in the future work.

**VI. del:  
Medicinska fizika &  
izobraževanje**

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

# Exact Pharmacokinetic Model Identification in Nuclear Medicine with Application to Toxicology

Pierce Ellingson<sup>1,2</sup>, A. Alilović Osolin<sup>1</sup>, A. Studen<sup>1,2</sup>, J. Snoj  
Tratnik<sup>1</sup>, R. Jeraj<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

<sup>2</sup>*Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

*E-poštni naslov prvega avtorja: [pierce.ellingson@ijs.si](mailto:pierce.ellingson@ijs.si)*

Compartmental modeling is the standard approach in describing the pharmacokinetics of a wide range of chemicals. Models can be uniquely identified for an individual through analysis of dynamic nuclear medicine studies where the radiolabeled chemical or an analogue is administered<sup>27</sup>. The personalized model identified gives a crucial step in personalized, precision toxicological risk assessment.

---

<sup>27</sup> Ellingson et al. A Novel Approach to Parametric Studies in Nuclear Medicine. Molecular Imaging. 2025;24. doi:10.1177/15353508251366816

# Izdelaj in preizkusi sam: detektor ionizirajočega sevanja

Gabi Novak<sup>1</sup>, U. Pompe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo (ICJT), Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

*E-poštni naslov prvega avtorja: [gabi.novak@ijs.si](mailto:gabi.novak@ijs.si)*

Šole so pri izvajanju eksperimentalnega dela pogosto omejene zaradi pomanjkanja opreme, finančnih sredstev in dostopa do sodobnih učnih pripomočkov. Prav omejen inventar je pogosto eden izmed razlogov, da se učitelji in profesorji redkeje odločajo za izvajanje novih eksperimentov in demonstracij izven ustaljenih vsebin ter opreme, ki jo že imajo na voljo. Zato je predstavljen enostaven in varen način izdelave doma izdelanega detektorja ionizirajočega sevanja, ki lahko pomaga zmanjšati to začetno oviro in približati eksperimentalno delo širšemu krogu učiteljev in učencev.

Opisani so sestavni deli, postopek sestave ter prilagoditve naprave za zaznavanje ionizirajočega sevanja. Prikazan je tudi demonstrativni primer uporabe detektorja za zaznavanje prisotnosti sevanja v okolju z uporabo vsakdanjih predmetov. Detektor je tehnično zaključen, vendar je še vedno v fazi testiranja in nadaljnjih izboljšav zaradi določenih tehničnih izzivov pri delovanju naprave. Hkrati poteka raziskovanje možnosti za njegovo smiselno vključitev v pouk fizike v osnovni in srednji šoli, predvsem kot podpora eksperimentalnemu delu in sodobnim pristopom k poučevanju naravoslovnih vsebin.

Ljubljana 2026

13. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov

<https://www.djs.si/mmg/kmjs2026/>