

12. KONFERENCA MLADIH JEDRSKIH STROKOVNJAKOV

ZBORNIK POVZETKOV

REAKTORSKI CENTER PODGORICA
29. 5. 2025

Ljubljana, Slovenija, 2025

Mreža mlade generacije (MMG), Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije
Inštitut "Jožef Stefan", Odsek za reaktorsko tehniko (R4)
<https://www.djs.si/mmg/kmjs2025>

Zbornik povzetkov za

12. konferenco mladih jedrskih strokovnjakov

Avtorji:

(po abecednem vrstnem redu)

Eva Bahčič
Benjamin Barbarič
Aljoša Gajšek
Jakob Justin
Mihael Boštjan Končar
Jan Kren
Izak Kreuh
Gašper Letnar
Blaž Levpušček
Simon Lončarič
Anže Mihelčič
Katerina Paskova
Anže Pungerčič
Filip Ratkajec
Nik Reberšek
Grega Ropoša
Adam Šiško
Patrik Tarfila

Ilustracije:

Urednik:

Izak Kreuh

Izak Kreuh

Izdal:

Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije
Jamova cesta 39
SI-1000 Ljubljana
Slovenija
E-pošta: djs@ijs.si
Spletni naslov: www.djs.si

Naklada:

ISBN:

50 tiskanih izvodov

978-961-6207-60-7

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

621.039.5(082)

539.175(082)

KONFERENCA mladih jedrskih strokovnjakov (12 ; 2025 ; Podgorica)

12. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov : zbornik povzetkov : Reaktorski center Podgorica, 29. 5. 2025 / [avtorji (po abecednem vrstnem redu) Eva Bahčič ... [et al.] ; ilustracije Izak Kreuh ; urednik Izak Kreuh]. – Ljubljana : Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije, 2025

ISBN 978-961-6207-60-7

COBISS.SI-ID 236648451

Spremna beseda

Spoštovani udeleženci,

dobrodošli na 12. konferenci mladih jedrskih strokovnjakov Slovenije. Ponosni smo, da smo znova zbrali skupino izjemnih in nadarjenih mladih posameznikov, ki s svojo zavzetostjo, znanjem in svežimi idejami aktivno soustvarjajo prihodnost jedrske industrije. Podpora mladim talentom je ključna, saj le tako lahko omogočimo nadaljnji razvoj in rast v jedrski stroki.

Konferenca je prostor povezovanja in izmenjave znanja, izkušenj in mnenj med mladimi raziskovalci in strokovnjaki. Letos konferenco organiziramo že dvanajstič in s tem dokazujemo, da skupnost raste in se krepi, kar ne bi bilo mogoče brez udeležencev in organizacijskih odborov prejšnjih konferenc.

Za letošnjo konferenco smo prvič pripravili posebno sekcijo, posvečeno orodjem v modernem raziskovalnem okolju. S tem želimo prikazati različne pristope k izvajanju raziskovalnega dela, saj ustrezna orodja bistveno izboljšajo učinkovitost pri delu. Kljub pomembnosti se žal ta vidik pogosto zanemari, zato želimo s to sekcijo predstaviti nekaj smernic za raziskovalce na začetku svoje kariere ter tudi za tiste, ki bi radi podkrepili svojo že obstoječo raziskovalno pot.

Izkoristite konferenco za pridobivanje novega znanja, svežih idej in novih stikov, ki vam bodo koristili pri nadaljnjem raziskovanju.

Organizacijski odbor
Patrik Tarfila, Aljoša Gajšek in Izak Kreuh

Zahvala

Organizacija in izvedba te konference ne bi bila mogoča brez široke podpore. Na tem mestu se najprej zahvaljujemo Društvu jedrskih strokovnjakov Slovenije, njegovemu podmladku Mreži mlade generacije ter Odseku za reaktorsko tehniko Inštituta "Jožef Stefan" za vso pomoč pri organizaciji konference.

Iskrena hvala donatorju Nuklearni elektrarni Krško, ki je s svojo podporo prispevala k izvedbi konference in s tem omogočila prenos znanja in povezovanje med mladimi.

Zahvaljujemo se prof. dr. Leonu Cizlju, vodji Odseka za reaktorsko tehniko za vzpodbudo, nasvete in uvodni nagovor na konferenci. Zahvalili bi se tudi predsedniku Mreže mlade generacije Društva jedrskih strokovnjakov Slovenije Janu Malcu, predsedniku Društva jedrskih strokovnjakov Slovenije doc. dr. Tomažu Žagarju in članom organizacijskih odborov preteklih konferenc za vse nasvete, pomoč pri organizaciji in podporo pri izvedbi konference.

Na koncu pa hvala tudi vsem avtorjem, udeležencem in poslušalcem. S svojimi predstavitvami, vprašanji, mnenji in pripombami bogatite program in prispevate k izvedbi kvalitetne konference ter krepite zanimanje za raziskovanje.

Organizacijski odbor

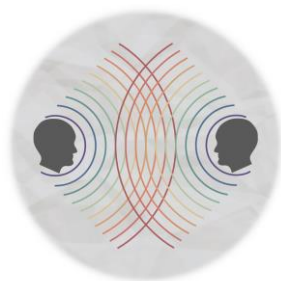


Kazalo

I. del: Vabljena predavanja.....	2
1. Sistem za sprotni izračun fizikalnih parametrov reaktorja TRIGA na IJS	3
2. Natančne simulacije vrenja v kompleksnih geometrijah	4
II. del: Reaktorska tehnika.....	6
3. Primerjava vpliva turbulentnih modelov na prenos toplote za tok v obročasti reži	7
4. Numerične simulacije za raziskovalni objekt HADES	8
5. Natančnost 3D renderiranja: Primer Taylorjevega mehurja	9
6. Izboljšan numerični model za odvod zaostale toplote iz segmentov EU DEMO oplodnih oblog med vzdrževanjem	10
III. del: Reaktorska fizika.....	12
7. Vpliv različnih temperaturnih metod v programih OpenMC in MCNP	13
8. Nedoločenost pomnoževalnega faktorja zaradi nezanesljivosti jedrskih podatkov na primeru gorivne palice	14
9. Razvoj programske kode za prikaz rezultatov MCNP mreže cenilk v posameznih 3-D komponentah	15
10. Podatkovna baza transmisijskih matrik za transport nevtronov	

IV. del: Posebna sekcija	18
11. Učinkovito sledenje virom pri raziskovalnem delu s programom ZOTERO	19
12. Uporaba orodja Git	20
13. Izdelava shem energetskih sistemov in eksperimentalnih prog z orodjem Bosch Scheme Editor	21
14. Obsidian kot orodje za organizacijo zapiskov pri raziskovalnem delu	22
V. del: Jedrske elektrarne in energetika	24
15. Analiza vpliva mašenja uparjalnikov na delovanje visokotlačne turbine z metodo trikotnikov hitrosti	25
16. Analiza pretočnih razmer v cevovodu sistema kaluženja uparjalnika SG01 v NEK	26
17. Nadomestitev Termoelektrarne Šoštanj s tehnologijo malih modularnih reaktorjev	27
18. Predvideno ravnanje z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom iz JEK2 ter s tem povezanimi stroški	28

I. del: Vabljena predavanja



Sistem za sprotni izračun fizikalnih parametrov reaktorja TRIGA na IJS

A. Pungercič¹

¹ *Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: anze.pungercic@ijs.si

Razvoj Monte Carlo metod za reševanje transporta nevtronov je omogočil zelo natančne reaktorske preračune različnih fizikalnih parametrov (porazdelitev nevtronskega fluksa in spektra nevtronov, reakcijskih hitrosti, polja žarkov gama, itd.). Slabost omenjenih izračunov je hitrost simulacij, kar pa lahko rešimo z uporabo hibridnih metod, kjer sklopimo Monte Carlo metode z determinističnim izračunom. Za raziskovalni reaktor TRIGA na IJS smo Monte Carlo izračun pohitrili z uporabo metode fisijskih matrik, kjer z pred-izračunom koeficientov, lahko izvedemo reaktorski preračun že v nekaj sekundah. V zadnjih letih je bilo znotraj omenjene sklopitve razvitih nekaj metod za simulacijo kontrolnih palic reaktorja¹, zgorevanja jedrskega goriva² in reaktorskih kinetičnih parametrov³. Z uporabo metod je uspel razvoj sistema za Sprotni Izračun porazdelitev Nevtronov in žarkov Gama (sistem SING), ki za vhodne parametre uporabi obratovanje reaktorja (trenutni položaj kontrolnih palic, moč reaktorja, čas obratovanja, porazdelitev gorivnih elementov) in izračuna glavne fizikalne parametre reaktorske sredice.

¹ Mascolino, V., et al. *Annals of Nuclear Energy* 166 (2022): 108711.

² Pungercič, A., et al. *Nuclear Engineering and Technology* 55.10 (2023): 3732-3753.

³ Mascolino, V., et al. *Progress in Nuclear Energy* 176 (2024): 105391.

Natančne simulacije vrenja v kompleksnih geometrijah

J. Kren¹

¹ *Paul Scherrer Institute, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen, Švica*

E-poštni naslov prvega avtorja: jan.kren@psi.ch

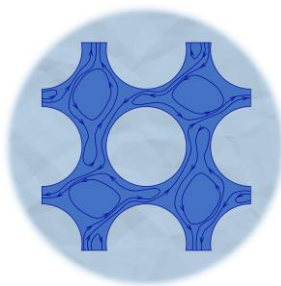
Prispevek se osredotoča na razvoj in validacijo naprednih metod računske dinamike tekočin (angl. Computational Fluid Dynamics, CFD) za simulacijo vrenja v sredici jedrskih reaktorjev, razvitih v okviru projektov, ki jih podpira združenje švicarskih jedrskih elektrarn Swissnuclear. Poseben poudarek je na metodi sledenja medfazni površini (Interface Tracking Method, ITM), implementirani v interni CFD-kodi T-Flows. Podpora poljubnim nestrukturiranim mrežam omogoča T-Flows natančno modeliranje zapletenih geometrij, značilnih za gorivne elemente.

Ključni člen dvofaznih simulacij je geometrijska rekonstrukcija medfazne površine – ta zagotavlja zanesljivo določanje lokalnih toplotnih in masnih tokov na medfazni površini, kar je bistveno za natančne simulacije vrenja. V prispevku bomo predstavili matematično in numerično formulacijo ITM simulacij s fazno spremembo, prikazali rezultate validacij na standardnih primerih in pokazali prve simulacije toka vrenja okoli distančnih rešetk in gorivnih palic v izbranih odsekih reaktorske sredice.

V nadaljevanju je predstavljen načrt za vključitev podmodela tekočega filma v režimu osušitve (angl. dryout)– ta bo optimiziral mrežo in znižal računalniške zahteve, hkrati pa ohranil visoko fizikalno natančnost. S predstavljenim pristopom se želimo približati realistični simulaciji s fazno spremembo v celotni sredici jedrskega reaktorja.

II. del:

Reaktorska tehnika



Primerjava vpliva turbulentnih modelov na prenos toplote za tok v obročasti reži

I. Kreuh^{1,2}, M. Tekavčič¹, B. Končar^{1,2}

¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,
Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: izak.kreuh@ijs.si

Izbor turbulentnega modela močno vpliva na izid simulacije izbranih tokovnih pogojev. Le-to pa se ne pozna le na hitrostnih profilih ter obliki vrtincev v toku, temveč tudi na prenosu raznih količin – med njimi tudi toplote. Zanima nas vpliv različnih turbulentnih modelov na napoved temperaturnega profila za testno sekcijo v laboratoriju THELMA na odseku R4, IJS. Testna sekcija je sestavljena iz bakrene cevi z dimenzijami gorivne palice v jedrskem reaktorju. Ta je postavljena v sredino steklene cevi, tako da ustvarimo obročasto režo v velikosti 2 mm. Po notranjosti bakrene cevi teče vroča voda, ki jo greje, v obročasti reži pa hladilo, ki jo hladi. Z odprtokodnim programskim orodjem za simulacije računske dinamike tekočin OpenFOAM smo naredili simulacijo hladila v majhnem izseku obročaste reže. Pri tem smo privzeli, da je naš sistem osno simetričen. V našem prispevku bomo primerjali napovedi temperaturnih profilov pridobljenih z različnimi turbulentnimi modeli z rezultati predhodnih simulacij z orodjem ANSYS Fluent. Prav tako bomo presodili vpliv vključitve izseka stene bakrene cevi v simulacijsko domeno.

Numerične simulacije za raziskovalni objekt HADES

J. Justin¹, A. Gajšek^{1,2}

¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,
Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: jjustindesign@gmail.com

Diverter je sestavni del tokamak fuzijskih reaktorjev, odgovoren za odstranjevanje nečistoč in toplote iz plazme. Ker je v neposrednem stiku s plazmo, je podvržen ekstremnim toplotnim obremenitvam (do 20 MW/m²). Komponente, obrnjene proti plazmi (ang. plasma facing components – PFCs), so sestavljene iz volframovih monoblokov, s cevmi iz CuCrZr zlitine, hlajene pa so z vodo. Razvoj PFC-jev se dopolnjuje z numeričnimi simulacijami, ki omogočajo začetno preverjanje izvedljivosti konceptov. Zanesljivost rezultatov numeričnih simulacij se potrjuje s primerjanjem s podatki pridobljenimi iz obstoječih eksperimentov.

V objektu HADES eksperimentalno preverjajo zmogljivost odvajanja toplote iz maket PFC-jev, z uporabo elektronskega topa, ki zagotovi primeren toplotni tok na površini maket PFC-jev. Enofazni modeli računske dinamike tekočin dobro opisujejo stanje pri nižjih močeh, odstopanja od eksperimentalnih podatkov so majhna. Pri visokih močeh pa lahko v cevi s hladilom pride do vrenja, kar povzroči da enofazni model močno preceni temperaturo. Ta problem je rešljiv z uporabo večfaznih modelov, vendar trenutne implementacije niso prilagojene na pogoje, ki so prisotni v hladilnem sistemu PFC-jev.

Natančnost 3D renderiranja: Primer Taylorjevega mehurja

F. Ratkajec¹, S. El Shawish¹

¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: filip.ratkajec44@gmail.com

Eksperimentalne raziskave Taylorjevega mehurja v navpični stekleni cevi krožnega preseka pogosto temeljijo na optičnem zajemu podatkov, pri čemer pa natančnost meritev omejujejo optični pojavi, predvsem lom in odboj svetlobe. Ključni parametri, kot so velikost in položaj mehurja ter debelina vodnega filma med mehurjem in steno cevi, so zaradi teh pojavov pogosto popačeni.

V tej študiji podrobno analiziramo vpliv optičnih učinkov z namenom izboljšanja zanesljivosti eksperimentalnih podatkov. Osredotočamo se na meritve profila intenzitete svetlobe v horizontalni ravnini, kjer svetloba, preden doseže senzor kamere, prehaja skozi več steklenih sten, Taylorjev mehur in vodo. Izmerjene profile intenzitete smo primerjali s 3D optičnimi simulacijami eksperimentalnega sistema.

Za modeliranje smo v odprtokodnem programu Blender izdelali 3D model eksperimentalne postavitve, definirali položaj kamere ter izvedli simulacije za različne tipe osvetlitev – enakomerno in Lambertovo ploskovno svetilo. Vpliv polarizacije svetlobe smo dodatno simulirali z uporabo programa PBRT.

Rezultati simuliranih profilov intenzitete svetlobe so v večini primerov dobro skladni z eksperimentalnimi podatki. Največja odstopanja so se pojavila v osrednjem delu Taylorjevega mehurja, kjer imata tip osvetlitve in polarizacija svetlobe izrazit vpliv na zaznano intenziteto.

Izboljšan numerični model za odvod zaostale toplote iz segmentov EU DEMO oplodnih oblog med vzdrževanjem

G. Ropoša^{1,2}, M. Draksler¹

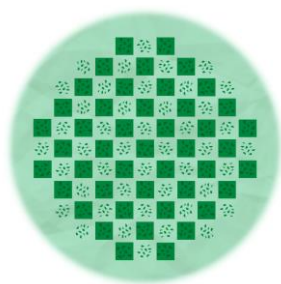
¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta
6, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: grega.roposa01@gmail.com

Izboljšan numerični model, zasnovan na zakonu o ohranitvi energije, ocenjuje odvajanje zaostale toplote iz segmentov oplodnega plašča reaktorja EU DEMO med vzdrževanjem. To je planirano približno mesec po zaustavitvi plazme, ko bo vakuumaska posoda napolnjena s suhim zrakom pri atmosferskem tlaku. Naravno kroženje plina prenaša zaostalo toploto na hladne in-vessel komponente in steno sosednjih segmentov, ki so še naprej aktivno hlajeni. Novi model vključuje sevalni prenos toplote med površinami (S2S model) ter naravno konvekcijo na zunanjih stenah oplodnih oblog. Kalibriran in validiran je z nestacionarnimi simulacijami treh ekvatorialnih sektorjev tokamaka. Primerjava je narejena za prvi dve uri predpostavljenega nestacionarnega toka in zagotavlja zanesljive dolgoročne napovedi.

III. del: Reaktorska fizika



Vpliv različnih temperaturnih metod v programih OpenMC in MCNP

K. Paskova¹, T. Goričanec², M. Kromar², A. Trkov^{1,2}

¹ Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,
Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

² Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova
cesta 39, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: p.kate@outlook.com

V okviru preverjanja delovanja odprtokodnega stohastičnega programa OpenMC, smo izvedli več testnih izračunov in jih primerjali z rezultati pridobljenimi s programom MCNP. Za izračune smo uporabili že obstoječe MCNP modele¹, ki popisujejo gorivne elemente Nuklearne elektrarne Krško pri različnih pogojih. Modele smo ustrezno prevedli v OpenMC obliko vhodnih datotek in opravili primerjave pomnoževalnega faktorja in porazdelitve nevtronskega fluksa.

Ker so temperature materialov v modelih bile različne od osnovnih, ki jih ponuja knjižnica ENDF/B-VIII.0, smo morali uporabiti temperaturno interpolacijo. Poudarek dela je na uporabi različnih metod interpolacije presekov in posledično analiza ujemanja rezultatov med OpenMC in MCNP. Za boljšo zanesljivost izsledkov, so izračuni narejeni na gorivnih elementih z različno izgorelostjo, gostoto vode in prisotnostjo absorberja v gorivnih palicah. Aksialne porazdelitve nevtronskega fluksa se razlikujejo več kot pričakovano, vzrok za zdaj še ni pojasnjen in bo predmet nadaljnjega dela.

¹ T.Goričanec et al. "3D CAD and MCNP model of the reactor core, reactor vessel and reactor vessel internal structures of the Krško nuclear power plant". In: IJSDP-12490 (2018).

Nedoločenost pomnoževalnega faktorja zaradi nezanesljivosti jedrskih podatkov na primeru gorivne palice

G. Letnar¹, M. Kromar²

¹ *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

² *Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: gaper.letnar@gmail.com

Za zanesljivo oceno varnosti in učinkovitosti jedrskih reaktorjev je ključno ustrezno upoštevanje negotovosti v jedrskih podatkih. Predstavljen je časovno učinkovit pristop za propagacijo nedoločenosti podatkov skozi izgorevalni izračun. S pomočjo programske knjižnice SANDY in kovariančnih matrik iz jedrskih podatkovnih knjižnic ENDF/B-VIII.1 in JEFF-3.3 je bilo generiranih 500 vzorcev jedrskih presekov, cepitvenih pridelkov in razpadnih konstant. Ti vzorci so bili uporabljeni v dvodimenzionalnem Monte Carlo izgorevalnem izračunu na nivoju gorivne palice z uporabo kode SERPENT2. Izvedena sta bila dva nabora izračunov z različnima naključnima semenoma in zmanjšano nevtronsko populacijo, pri čemer je bila negotovost efektivnega pomnoževalnega faktorja ocenjena na podlagi kovariance med rezultatoma. Ta pristop, znan kot metoda GRS¹, omogoča bistveno zmanjšanje računske zahtevnosti: namesto n časovno zahtevnih izračunov z visoko ločljivostjo izvedemo $2n$ hitrejših izračunov z nižjo ločljivostjo, ob primerljivi kakovosti ocene negotovosti.

¹ W. ZWERMANN et al., "Aleatoric and Epistemic Uncertainties in Sampling Based Nuclear Data Uncertainty and Sensitivity Analyses," Proc. PHYSOR-2012, Knoxville, Tennessee, April 15–20, 2012, American Nuclear Society (2012).

Razvoj programske koda za prikaz rezultatov MCNP mreže cenilk v posameznih 3-D komponentah

B. Barbarič¹

¹ *Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova
cesta 39, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: benijamin.barbaric@ijs.si

V sodobnih jedrskih analizah se pogosto uporabljajo metode Monte Carlo za preračune transporta delcev, pri čemer je MCNP (Monte Carlo N-Particle transport) koda ena izmed najpogostejše uporabljenih in najbolj validiranih orodij za nevtronske simulacije, tako v fisijskih kot v fuzijskih aplikacijah. Kljub svoji zmogljivosti pa je ena izmed poglobitvenih omejitev pri uporabi MCNP koda nezmožnost enostavne povezave vhodnih in izhodnih datotek s CAD orodji, kar otežuje prostorsko interpretacijo rezultatov. To še posebej velja za tridimenzionalni prikaz izračunanih fizikalnih parametrov, kot so nevtronski fluks, aktivnosti, deponirana energija ali kontaktna doza.

Za omilitev teh težav je bila razvita enostavna programska koda, ki z nekaj ukazi omogoča prikaz izračunanih vrednosti mreže cenilk iz MCNP izhodne datoteke, tako v cilindrični kot tudi v kartezični geometriji. Koda omogoča kombiniranje MCNP izhodne datoteke s STL datoteko, ki predstavlja CAD geometrijo sistema in jo je mogoče ustvariti z večino CAD orodij. Na ta način se bistveno izboljša uporabniška izkušnja pri analizi rezultatov Monte Carlo simulacij, omogoči boljši pregled nad podatki ter poveča učinkovitost interpretacije rezultatov v jedrskih aplikacijah.

Podatkovna baza transmisijских matrik za transport nevtronov

B. Levpušček^{1,2}, L. Snoj^{1,2}

¹ *Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: blaz.levpuscek@ijs.si

Sestavljena je bila podatkovna baza transmisijских matrik, namenjena opisu transporta nevtronov skozi različne materiale. Transmisijсka matrika podaja verjetnost, da nevtron z določeno vhodno energijo preide skozi material in izstopi pri neki energiji. V primeru, da nevtron v materialu interagira preko reakcij, katerih produkti so novi nevtroni (npr. (n,f) , (n,n') , $(n,2n)$), se kot izhodna energija upošteva energija teh produktov.

Transmisijске matrike so bile generirane s pomočjo MCNP izračunov za različne debeline materialov, pri čemer so bili za mikroskopski presek uporabljeni podatki iz knjižnice ENDF/B-VIII.0. Spekter vpadnega nevtronskega fluksa je bil energijsko enakomeren, izvorni nevtroni pa so bili enosmerni ter usmerjeni pravokotno na površino preizkušeneгa materiala.

Rezultati so bili urejeni v podatkovno bazo, ki omogoča nadaljnjo analizo in uporabo. Eden izmed primerov uporabe je določitev debeline materiala, ki minimizira odstopanje med izhodnim in želenim (referenčnim) spektrom nevtronskeгa fluksa.

IV. del:

Posebna sekcija



12. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

Učinkovito sledenje virom pri raziskovalnem delu s programom ZOTERO

A. Gajšek^{1,2}

¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,
Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: aljosa.gajsek@ijs.si

Učinkovito upravljanje virov je ključno za kakovost in sledljivost raziskovalnega dela. Bibliografski upravljalniki, kot je Zotero¹, omogočajo enostavno shranjevanje, organizacijo in citiranje različnih vrst virov. Integracija z urejevalniki besedil in spletnimi vmesniki omogoča hitro vstavljanje citatov ter ustvarjanje bibliografij v številnih citatnih stilih. Zotero omogoča tudi neposredno delo s PDF dokumenti, kar olajša označevanje, komentiranje in organizacijo virov. Poleg individualne uporabe podpirajo tudi skupinsko delo preko deljenih knjižnic, kar raziskovalcem omogoča učinkovito sodelovanje in zagotavlja višjo kakovost raziskovalnega procesa. Zaradi enostavne integracije z orodji za izdelavo dokumentov v LaTeX in Microsoft Word okolju je Zotero še posebej priljubljen v znanstvenih in akademskih krogih. Uporaba bibliografskih upravljalnikov pomembno prispeva k zmanjšanju napak pri znanstvenih referencah in uvajanju dobrih praks v raziskovalno delo.

¹ Spletna stran Zotera, <https://www.zotero.org/>

Uporaba orodja Git

A. Mihelčič^{1,2}, J. Malec^{1,2}

¹ Odsek za reaktorsko fiziko (F8), Inštitut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

² Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

E-poštni naslov prvega avtorja: anze.mihelcic@ijs.si

Sodelovanje raziskovalcev pri razvoju programske opreme, podatkovnih orodij in analiznih platform zahteva učinkovito upravljanje izvorne kode ter sledljivost sprememb. Orodje Git predstavlja sodoben in razširjen sistem za nadzor različic, ki omogoča lokalno delo brez internetne povezave, shranjevanje zgodovine sprememb ter vzporedno sodelovanje več razvijalcev. Git podpira delo z različnimi vejami kode, kjer se spremembe najprej razvijajo ločeno in se nato nadzorovano združujejo v glavno vejo, pri čemer se ohranja popolna sledljivost vseh sprememb.

Git je integriran v več platform, med katerimi izstopata GitHub¹ in GitLab². GitHub je globalno priljubljena spletna storitev za deljenje kode, zlasti v odprtokodnih skupnostih, medtem ko GitLab poleg gostovanja repozitorijev vključuje tudi napredna orodja za celoten DevOps cikel ter omogoča lokalno namestitvev znotraj organizacij. GitLab uporabljajo tudi mednarodne institucije, kot je Agencija za jedrsko energijo OECD-NEA³, za usklajevanje projektov in delovnih skupin. Podoben pristop uporablja tudi Institut "Jožef Stefan"⁴.

Uporaba Gita prispeva k večji kakovosti, preglednosti in ponovljivosti raziskovalnega dela ter je ključen korak k uvedbi dobrih praks pri razvoju programske opreme v znanstvenem okolju.

¹ Spletna stran GitHuba, <https://github.com/>

² Spletna stran GitLaba, <https://about.gitlab.com/>

³ GitLab stran za OECD-NEA, <https://git.oecd-nea.org>

⁴ GitLab stran za IJS, <https://repo.ijs.si/>

Izdelava shem energetskega sistemov in eksperimentalnih prog z orodjem Bosch Scheme Editor

M. B. Končar¹

¹ *Laboratorij za termoelektrotehniko (LTE), Fakulteta za strojništvo,
Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: mihaelbostjan.koncar@fs.uni-lj.si

Kakovostna tehnološka shema je temelj za jasno predstavitev delovanja eksperimentalne proge ali energetskega sistema. Brez namenskih orodij je izdelava takšnih shem zelo zamudna, statična in pogosto otežuje učinkovito inženirsko komunikacijo. Čeprav je na voljo več komercialnih programskih rešitev, te redko vključujejo knjižnice simbolov, ki so usklajene z znanstveno in/ali študijsko literaturo.

Za premostitev opisanih izzivov smo v Laboratoriju za termoelektrotehniko (LTE) na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani pripravili namenske knjižnice simbolov, prilagojene pedagoškim in raziskovalnim potrebam. Knjižnice so združljive z brezplačnim orodjem Bosch Scheme Editor ⁶¹, ki ga je podjetje Bosch Rexroth razvilo za izris hidravličnih in pnevmatskih shem. Orodje skupaj s knjižnicami LTE omogoča učinkovito pripravo tehnične dokumentacije za potrebe izdelave tehničnih poročil, študijskega gradiva in zaključnih nalog. Knjižnice so prosto dostopne na GitHub repozitoriju² in se redno posodablja.

¹ Spletna stran Bosch Scheme Editorja, <https://www.boschrexroth.com/de/de/service-und-support/konfiguratoren-und-tools/scheme-editor/>

² Osební GitHub za Bosch Scheme Editor 6, https://github.com/mbkoncar/ES_symbols_Bosch_Scheme-Editor_6.git

Obsidian kot orodje za organizacijo zapiskov pri raziskovalnem delu

P. Tarfila^{1,2}

¹ *Odsek za reaktorsko tehniko (R4), Inštitut "Jožef Stefan",
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,
Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: patrik.tarfila@ijs.si

Pri raziskovalnem delu je ključno zanesljivo in učinkovito urejanje podatkov, saj dobro organizirani zapiski omogočajo boljši pregled in bistveno olajšajo tako sprotno kot tudi nadaljnje delo. Obsidian¹ je zmogljiva aplikacija za vodenje zapiskov, ki temelji na jeziku *Markdown*. Omogoča ustvarjanje medsebojno povezanih zapiskov, ki jih lahko vizualiziramo v obliki drevesne strukture. Povezovanje zapiskov bistveno izboljša preglednost, navigacijo in omogoča oblikovanje poljubne hierarhije med posameznimi zapiski.

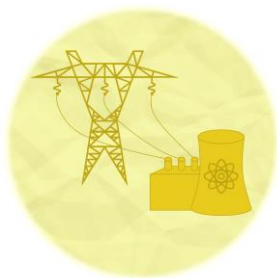
Ena izmed največjih prednosti Obsidiana so vtičniki, predloge in bližnjice, ki omogočajo razširitev funkcionalnosti aplikacije ter integracijo z zunanji orodji, kot je bibliografski urejevalnik Zotero². Večina dodatkov je prosto dostopna in jih razvija aktivna skupnost uporabnikov. Vse datoteke so shranjene lokalno, kar uporabniku zagotavlja popoln nadzor nad podatki. Obsidian je izjemno prilagodljivo okolje, primerno za raziskovalce iz različnih področij.

¹ Spletna stran Obsidiana, <https://obsidian.md/>

² Spletna stran Zotera, <https://www.zotero.org/>

V. del:

Jedrske elektrarne in energetika



Analiza vpliva mašenja uparjalnikov na delovanje visokotlačne turbine z metodo trikotnikov hitrosti

A. Šiško¹, M. B. Končar¹, M. Sekavčnik¹

¹ *Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta
6, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: as51404@student.uni-lj.si

Podaljšanje življenjske dobe delujočih jedrskih elektrarn je temelj brezogljične oskrbe z energijo v prihodnosti. Varno, zanesljivo in ekonomsko vzdržno dolgoročno obratovanje elektrarn zahteva redno vzdrževanje in posodobitve tudi v sekundarnem sistemu elektrarne. Tovrstni posegi so lahko zelo dragi in časovno zahtevni, zato je pomembno, da znamo pravilno napovedati pojav degradacijskih procesov, v kolikšni meri ti procesi vplivajo na obratovalne parametre sistema in kako ti vplivajo na izhodno moč in varnost elektrarne.

Eden najpomembnejših procesov, posebej z vidika delovanja sekundarnega sistema, je mašenje uparjalnikov. Zaradi spremembe pretočnega prereza se namreč spremenijo pretočne razmere na visokotlačni turbini (VT), kar vpliva na zmanjšanje notranjega izkoristka VT in s tem na manjšo izhodno moč elektrarne. Da bi ocenili ta vpliv, smo na podlagi termodinamske analize obratovalnih parametrov sekundarnega sistema, geometrije pretočnih kanalov in trikotnikov hitrosti oblikovali poenostavljen model obratovanja VT. Osredotočili smo se predvsem na vstopne turbinske stopnje, saj bodo prav te glede na načrt vzdrževanja Nuklearne elektrarne Krško predmet posodobitve tekom življenjske dobe elektrarne. Oblikovan model bi tako lahko služil kot podpora k ozaveščenemu načrtovanju menjave vstopnih stopenj.

Analiza pretočnih razmer v cevovodu sistema kaluženja uparjalnika SG01 v NEK

N. Reberšek¹, M. B. Končar¹, M. Sekavčnik¹

¹ *Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: nr38760@student.uni-lj.si

V času rednega remonta Nuklearne elektrarne Krško (NEK) leta 2024 so bile pri vizualnem pregledu v reaktorski zgradbi identificirane poškodbe podpor cevovoda sistema za kaluženje uparjalnikov (*ang. »Blowdown System«*), ki zagotavlja ustrezno kakovost napajalne vode v uparjalnikih. Za ovrednotenje najverjetnejših vzrokov poškodb je bila izvedena analiza temeljnih vzrokov. Kot eden izmed najverjetnejših vzrokov so bile v analizi izpostavljene mehanske obremenitve, ki bi lahko bile posledica vodnega udara zaradi razvoja dvofaznega toka. Ker so statični hidravlični preračuni sistema pokazali, da je tlak v ceveh blizu kritičnega tlaka za pojav dvofaznega toka (tlaka nasičenja), smo se osredotočili predvsem na prehodne pojave pri hitrem zapiranju regulacijskega ventila.

Študija bo temeljila na poenostavljenem hidravličnem modelu relevantnega dela cevovoda sistema kaluženja, izdelanega v nemški jedrski sistemski kodi AC2/ATHLET (razvijalec GRS gGmbH). Model vključuje dva časovno odvisna volumna s predpisanimi termodinamskimi lastnostmi, regulacijski ventil ter realno geometrijo cevovoda, vključno z elevacijami, zožitvami in spoji. S simulacijami različnih hitrosti zapiranja ventila bomo tako lahko analizirali časovno odvisne tlačne pojave in natančno ovrednotili možnost pojava vodnih udarov.

12. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov,

Nadomestitev Termoelektrarne Šoštanj s tehnologijo malih modularnih reaktorjev

S. Lončarič¹, M. B. Končar¹, M. Sekavčnik¹

¹ *Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta
6, 1000 Ljubljana*

E-poštni naslov prvega avtorja: loncaric.sl@gmail.com

Naraščajoče potrebe po dispečabilnih nizkoogljiknih energijskih virih povečujejo zanimanje za nove tehnologije oskrbe z električno energijo, med njimi izstopajo mali modularni reaktorji (*ang. »Small Modular Reactors«*). Ti predstavljajo obetavno rešitev za oskrbo v prihodnost, saj omogočajo stabilno in prilagodljivo oskrbo, pri čemer ne povzročajo emisij toplogrednih plinov. Poleg tega SMR omogočajo tudi sočasno oskrbo s toploto in električno energijo. Te lastnosti tako postavljajo SMR kot zanimivo in izvedljivo alternativo klasičnim termoelektrarnam in toplarnam.

Eden izmed takih energetskega objektov je tudi Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ), ki je eden od temeljev slovenskega elektroenergetskega sistema. Na leto prispeva približno 22 % vse električne energije v Sloveniji. Njena vloga pa je še pomembnejša z vidika izravnave energijskih tokov v sistemu, saj je naša največja enota v sekundarni regulaciji. Služi pa tudi kot avtomatska rezerva za povrnitev frekvence ter zagotavlja toploto drugemu največjemu sistemu daljinskega ogrevanja v državi. TEŠ mora zato izkazovati nekatere tehnične lastnosti, kot je na primer zmožnost sledenja bremenu. Za celostno nadomestitev TEŠ mora energetski sistem s SMR izkazovati enake lastnosti. Tehnologija SMR ponuja široko paleto različnih reaktorjev in podpornih sistemov, kot so hranilniki energije. V prispevku smo predstavili skupek tistih tehnologij, ki bi lahko najboljše nadomestile TEŠ.

Predvideno ravnanje z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom iz JEK2 ter s tem povezanimi stroški

E. Bahčič¹, K. Naglič¹, T. Žagar¹

¹ GEN ENERGIJA d. o. o, Vrblina 17, 8270 Krško

E-poštni naslov prvega avtorja: eva.bahcic@gen-energija.si

Ključni deli priprave projekta JEK2 predstavljajo analize, potrebne za dolgoročno varno in učinkovito načrtovanje ravnanja z radioaktivnimi odpadki (RAO), izrabljenim gorivom (IG) in razgradnjo elektrarne po koncu obratovanja. Ravnanje z nizko- in sredneradioaktivnimi odpadki (NSRAO) v okviru projekta JEK2 bo s tehnološkega vidika pomenilo nadgradnjo trenutno načrtovanega pristopa, opisanega v Resoluciji o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom (ReNPROIG¹), ki že vključuje načrt za obstoječo NEK. Izrabljeno gorivo se najprej hrani v bazenu za IG, nato pa se premesti v suho skladišče na lokaciji elektrarne, dokler se ne vzpostavi globoko geološko odlagališče, ki bo zagotavljalo dolgoročno rešitev, če se država odloči, da goriva ne bo predelovala. V analizi je bil, poleg tehničnega, obravnavan tudi ekonomski vidik financiranja ravnanja z RAO. Ta temelji na uveljavljeni praksi zbiranja sredstev prek namenskega sklada, ki deluje kot mehanizem za upravljanje finančnih virov.

¹ Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2023-2032

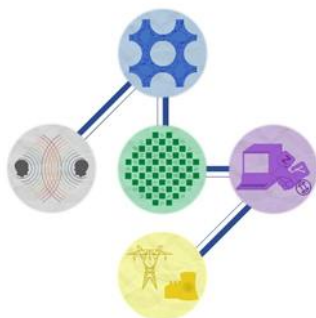


Mreža mlade generacije
Društva jedrskih strokovnjakov Slovenije

vas prijazno vabi
k udeležbi na

12. konferenci mladih jedrskih strokovnjakov.

na reaktorskem centru Podgorica, Institut Jožef Stefan,
v Ravnikarjevi predavalnici P4 Izobraževalnega centra
za jedrsko tehnologijo (ICJT), **v četrtek, 29. maja 2025.**



Konferenca je vsakoletno srečanje mladih jedrskih strokovnjakov, ki se ukvarjajo z različnimi vidiki jedrske energije in predstavlja priložnost, da predstavijo svoje delo.

Glavni cilj konference je povečanje prepoznavnosti mladih jedrskih strokovnjakov in spodbujati sodelovanje med njimi.

Vljudno vabljeni!

MMG, DJS

Organizacijski odbor:
Patrik Tarfila, Aljoša Gajšek, Izak Kreuh,
Institut Jožef Stefan,
www.djs.si/mmg/kmjs2025
kmjs@ijs.si

Program konference



12. KONFERENCA MLADIH JEDRSKIH STROKOVNJAKOV Reaktorski center Podgorica, predavalnica P4, 29. 5. 2025

8:45-9:00	Zbor udeležencev	
9:00-9:10	Uvodni nagovor	prof. dr. Leon Cizelj Patrik Tarfila
REAKTORSKA TEHNIKA		
9:10-9:20	Primerjava vpliva turbulentnih modelov na prenos toplote za tok v obročasti reži	Izak Kreuh
9:20-9:30	Numerične simulacije za raziskovalni objekt HADES	Jakob Justin
9:30-9:40	Natančnost 3D renderiranja: Primer Taylorjevega mehurja	Filip Ratkajec
9:40-9:50	Izboljšani numerični model za odvod zaostale toplote iz segmentov EU DEMO oplodnih oblog med vzdrževanjem	Grega Ropoša
9:50-10:05	ODMOR in skupinsko slikanje	
VABLJENO PREDAVANJE		
10:05-10:25	Sistem za sprotni izračun fizikalnih parametrov reaktorja TRIGA na IJS	dr. Anže Pungerčič
REAKTORSKA FIZIKA		
10:25-10:35	Vpliv različnih temperaturnih metod v programih OpenMC in MCNP	Katerina Paskova
10:35-10:45	Nedoločena pomnoževalna faktorja zaradi nezanesljivosti jedrskih podatkov na primeru gorivne palice	Gašper Letnar
10:45-10:55	Razvoj programske kode za prikaz rezultatov MCNP mreže cenilic v posameznih 3-D komponentah	Benjamin Barbarič
10:55-11:05	Podatkovna baza transmissijskih matrik za transport nevtronov	Blaž Levpušček
11:05-11:50	KOSILO	
POSEBNA SEKCIJA		
11:50-12:05	Učinkovito sledenje virom pri raziskovalnem delu s programom ZOTERO	Aljoša Gajšek
12:05-12:20	Uporaba orodja Git	Anže Mihelčič
12:20-12:35	Izdelava shem energetskih sistemov in eksperimentalnih prog z orodjem Bosch Scheme Editor	Mihael Boštjan Končar
12:35-12:50	Obsidian kot orodje za organizacijo zapiskov pri raziskovalnem delu	Patrik Tarfila
JEDRSKE ELEKTRARNE IN ENERGETIKA		
12:50-13:00	Analiza vpliva mašenja uparjalnikov na delovanje visokotlačne turbine z metodo trikotnikov hitrosti	Adam Šiško
13:00-13:10	Analiza pretočnih razmer v cevovodu sistema kaluženja uparjalnika SG01 v NEK	Nik Reberšek
13:10-13:20	Nadomestitev Termoelektrarne Šoštanj s tehnologijo malih modularnih reaktorjev	Simon Lončarič
13:20-13:30	Predvideno ravnanje z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom iz JEK2 ter s tem povezanimi stroški	Eva Bahčič
VABLJENO PREDAVANJE		
13:30-13:50	Natančne simulacije vrenja v kompleksnih geometrijah	dr. Jan Kren
ZAKLJUČEK		
13:50-14:20	Skupščina MMG DJS	
14:20-22:00	Piknik	



[illegible]

[illegible]

