

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/9



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0026
Naslov programa	Reaktorska tehnika Reactor engineering
Vodja programa	7025 Leon Cizelj
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	72420
Cenovni razred	
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.03 Mehanika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

PRENOS TOPLOTE IN SNOVI
Trirazsežni (3D) dvofluidni model dvofaznega toka smo nadgradili z algoritmom za zasledovanje medfazne površine.

Simulirali smo ločeni, navzgor usmerjeni, tok filma kapljevine in jedra plina v navpični cevi.

Razvili smo modela za napoved kritičnega toplotnega toka v podhlajenem vrenju in velikosti mehurčkov pri odcepitvi od grelne površine.

Simulirali smo turbulentni tok kapljevine v hladnem gorivnem svežnju s 25 palicami, vloženi v distančno rešetko z mešalnimi krilci.

Ustvarili smo podatkovno bazo rezultatov direktne numerične simulacije turbulentnega prenosa toplote z vezanim prenosom toplote v kanalu, ki ga hladi tekoča kovina.

Analizirali smo toplotno obremenjenost komponent fuzijskih reaktorjev, ki jih hladimo s plinskimi curki, pri čemer smo le-te simulirali z metodo velikih vrtincev (Large Eddy Simulation).

Opravili smo študijo vodnega udara zaradi kondenzacije pare v vodoravnem razslojenem toku z lastnim 1D programom WAHA, pri čemer smo prehod v čepasti tok simulirali s programom za računsko dinamiko tekočin (Computational Fluid Dynamics – CFD).

S termohidravličnim programom TRACE smo simulirali prehodne pojave v eksperimentalnih napravah reaktorskega hladilnega sistema ACHILLES, BETHSY in ROSA/LSTF. Za program TRACE smo razvili tudi vhodni model jedrske elektrarne Krško.

TEŽKE NESREČE

Simulirali smo poskuse mešanja atmosfere zadrževalnega hrama in poskus izpusta vode iz reaktorske posode v napravi Marviken.

V napravi HYKA A2 smo izvedli poskus zgorevanja vodika. S sistemskim programom ASTEC smo simulirali poskuse zgorevanja, izvedene v napravi THAI.

Raziskovali in modelirali smo vpliva strjevanja in oksidacije taline na jakost parne eksplozije, do katere lahko pride med interakcijo staljene reaktorske sredice s hladilom. Analizirali smo tudi ustreznost modeliranja ključnih procesov interakcije taline z natrijem v reaktorjih naslednje generacije.

CELOVITOST IN STARANJE STRUKTUR

Raziskovalno delo je bilo usmerjeno v razvoj orodij za večnivojsko simulacijo polikristalnih kovinskih materialov. Poudarek je bil na razvoju 3D prostorskih realističnih struktur in naprednih konstitutivnih modelov za opis kristalnih zrn in mej med njimi. Podatke o kristalnih zrnih smo zajemali iz rezultatov eksperimentalnih ali analitičnih metod. Nastanek in razvoj medkristalnih razpok smo nato ocenjevali in napovedovali z metodo končnih elementov v programu ABAQUS.

VERJETNOSTNE VARNOSTNE ANALIZE

Razvili smo nove metode in orodja za oceno varnosti jedrskih elektrarn. Nove metode vsebujejo večje število vplivnih parametrov kot obstoječi modeli in upoštevajo staranje komponent.

Raziskovali smo medsebojni vpliv zanesljivosti elektroenergetskega sistema in varnosti vanj vključenih jedrskih elektrarn. Optimizirali smo razporeditev delovanja elektrarn v elektroenergetskem sistemu in aplicirali dobljene rezultate na realne močnostne sisteme.

A three-dimensional (3D) two-fluid model of two-phase flow was upgraded with an interface-tracking algorithm.

A database, obtained with Direct Numerical Simulation, of turbulent conjugate heat transfer in a channel cooled with liquid metal, was established.

Models for predicting critical heat flux in subcooled boiling and bubble departure size were developed.

Simulations of separated upward gas-liquid flow in a vertical pipe were carried out.

Turbulent flow through a cold fuel bundle with 25 rods in a grid with mixing vanes was simulated.

Heat loads of fusion reactor components, cooled with gas impinging jets, were analyzed. Jets were simulated using Large Eddy Simulation.

A study of condensation-induced water hammer in horizontal pipe was performed with our in-house 1D computer code WAHA. Stratified-to-slug flow transition was modelled using 3D Computational Fluid Dynamics (CFD) approach.

Transients in the ACHILLES, BETHSY and ROSA/LSTF experimental facilities, which represent parts of a reactor coolant system, were simulated with the thermal-hydraulic code TRACE, for which an input model of the Krško nuclear power plant was also developed.

A method to predict spent fuel pit shroud damage was developed.

SEVERE ACCIDENTS

Containment atmosphere mixing experiments, as well as an experiment on water discharge from the reactor vessel, performed in the Marviken facility, were simulated.

An experiment on hydrogen combustion with upward flame propagation was performed in the HYKA A2 facility. Combustion experiments, performed in the THAI facility, were simulated with the ASTEC system code.

The influence of melt solidification and oxidation on the strength of vapor explosions, which could occur during interaction of molten reactor core with coolant, was investigated. The modelling of key processes of fuel-sodium interaction in next-generation reactors was assessed as well.

STRUCTURAL INTEGRITY AND AGEING

Research was concentrated on the development of multiscale computational simulation tools for polycrystalline metallic materials. The focus was set on the development of 3D realistic aggregate models and improvement of advanced constitutive models for crystal grains and grain boundaries. The data on grains were retrieved either from experiments or by analytical methods. The intergranular crack initiation and propagation was then estimated and predicted using the finite-element solver ABAQUS.

PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT

New methods and tools for assessment of nuclear power plants risk were developed. The developed methods consider additional parameters and the contribution of ageing in reliability and safety analyses.

The interdependence between reliability of power systems and safety of nuclear power plants was investigated. New methods for optimization of power plant schedules were developed and applied to real power systems.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

PRENOS TOPLOTE IN SNOVI

Raziskovali smo dvofazni tok plin-kapljevina. V lasten računalniški program, ki temelji na štirieničnem dvofluidnem modelu toka, smo vgradili model za zasledovanje medfazne površine, ki temelji na ohranitveni metodi z nivojsko funkcijo. Na identificirani medfazni površini smo z novim modelom upoštevali sile površinske napetosti. Raziskave so bile usklajene s projektom 7. Okvirnega programa Evropske komisije (7. OP EK) NURESAFE.

Zaključili smo direktne numerične simulacije enofaznega turbulentnega toka v kanalu pri višjih Reynoldsovih številih, vključno z vezanim prenosom toplote pri nizkem Prandtlovem številu. Rezultati se uporabljajo za razvoj turbulentnih modelov prenosa toplote v jedrskih reaktorjih, hlajenih s tekočimi kovinami. Raziskave so potekale v okviru projekta 7. OP EK THINS. Podatkovna baza, ki smo jo ustvarili s simulacijami, obsega rezultate pri treh strižnih Reynoldsovih številih: 180, 395 in 590 in pri Prandtlovem številu 0,01. Dodatna, manj obsežna podatkovna baza, obsega simulacije pri strižnih Reynoldsovih številih 180 in 395 ter pri Prandtlovih številih 0,1, 1 in 10. Obsežna podatkovna baza brez vezanega prenosa toplote je nastala pri strižnem Reynoldsovim številu 180, Prandtlovem številu 0,01 in v različnih dimenzijah računskih domen, kjer smo raziskovali lastnosti in vpliv velikih turbulentnih struktur. Vse podatkovne baze so prosto dostopne.

Na področju raziskav konvektivnega vrenja smo modelirali osnovne mehanizme vrenja in kritičnega toplotnega toka. Uporabili smo mehanistični makroskopski model z obsežnim eksperimentalnim ozadjem, ki predstavlja osnovo za sklepanje na vrednost lokalnih parametrov ob steni, in tako razvili model kritičnega toplotnega toka na skali CFD (Computational Fluid Dynamics – računska dinamika tekočin). Na primeru analitičnega modela rasti mehurčka pri vrenju smo z metodo analize negotovosti parametrov kota omočenja in površinske napetosti določili natančnost modeliranja velikosti nukleacijskega mehurčka. Izvedli smo simulacije vrenja v navpičnem pravokotnem kanalu. Raziskave so bile vključene v projekt 7. OP EK NURISP. Izvedli smo simulacije primera protitoka filma vode in jedra zraka v navpični cevi, ki je povezan s t.i. poplavljanjem v navpičnih ceveh. Te raziskave na področju ločenih dvofaznih tokov so se navezoval na projekt 7. OP EK NURESAFE.

V sklopu projekta OECD/NEA smo simulirali eksperiment MATIS-H (KAERI, J. Koreja), kjer osrednji del naprave predstavlja hladen gorivni sveženj s 25 palicami, vloženi v distančno rešetko z mešalnimi krilci, skozi katerega teče turbulentni tok kapljevine. Z uporabo naprednih hibridnih metod, ki se prilagajajo velikostnim skalam turbulence, smo izvedli natančne simulacije turbulentnega toka v gorivnem svežnju.

Na področju tehnologije fuzijskih reaktorjev smo optimizirali in s pomočjo numeričnih simulacij analizirali hlajenje čepkov diverterja v fuzijskih reaktorjih, ki jih hladimo s plinskimi curki. Časovni razvoj toka curkov v okolici hlajene površine in njihov vpliv na prenos toplote smo simulirali z metodo velikih vrtincev (Large Eddy Simulation). Aktivnosti so potekale v sodelovanju s KIT (Nemčija) in PSI (Švica) in so se navezoval na evropski fuzijski program EFDA.

Zaključili smo raziskave enorazsežnih simulacij vodnega udara vsled kondenzacije vodne pare. Pojav smo popisali z nadgrajenim enorazsežnim dvofluidnim modelom, ki smo ga uporabili v okviru lastnega programa WAHA. Prehod v čepasti tok je bil simuliran s trirazsežnim popisom z uporabo CFD programa. Raziskave so bile vključene v projekt NURISP. Mehanizmi kondenzacije pare v vodoravnem razslojenem toku so sicer znani, vendar njihova kaotična narava otežuje natančno napovedovanje vodnega udara.

V sklopu raziskav termohidravličnih pojavov na sistemski skali smo s termohidravličnima računalniškima programoma RELAP5 in novim naprednim programom TRACE simulirali prehodne pojave v eksperimentalnih napravah ACHILLES (UKAEA, Združeno Kraljestvo), BETHSY (CEA, Francija) in ROSA/LSTF (JAERI, Japonska). Med drugim smo ugotovili, da je model za ločevalnik pare v programu TRACE potrebno izboljšati. Na podlagi rezultatov simulacij poskusov izvedenih na teh napravah s programom TRACE smo razvili enorazsežni vhodni model jedrske elektrarne Krško. Sodelovali smo v ameriškem projektu CAMP (Code Applications and Maintenance Program).

Razvili smo metodo napovedovanja poškodbe ovoja bazena za izrabljeno jedrsko gorivo. Gre za karakterizacijo poškodbe bazena, ki jo izvajamo na osnovi merljivih parametrov v začetni fazi izrednega dogodka in omogoča napovedovanje nivoja gladine hladilne vode v bazenu za obdobje po začetni fazi dogodka. Uspešna aplikacija tovrstnega sistema bi lahko pomembno izboljšala varnost obratovanja omenjenih bazenov. Za metodo in napravo za posredno karakterizacijo poškodbe bazena za izrabljeno gorivo je bil vložen zahtevek za pridobitev patenta pri patentnem uradu Velike Britanije.

TEŽKE NESREČE

Raziskovali smo termohidravliko atmosfere zadrževalnega hrama. S popisom na trenutni lokalni skali smo simulirali poskusa delovanja prh, izvedena na napravi TOSQAN (IRSN, Francija). Prav tako smo na osnovi sodelovanja v projektu OECD SETH2 simulirali poskus mešanja atmosfere NATHCO, izvedenega na napravi MISTRA (CEA, Francija). Pri teh simulacijah smo uporabili program za računsko dinamiko tekočin ANSYS CFX. Poleg tega smo uporabljali tudi popis na integralni volumski skali. Tako smo s sistemskima programoma ASTEC in CONTAIN simulirali poskus izpusta vodne pare iz reaktorske posode, izvedenega na napravi Marviken (Švedska), in poskuse mešanja atmosfere, izvedene na napravah TOSQAN in MISTRA. Simulacije mešanja atmosfere so povezane s simulacijami delovanja pasivnih avtokatalističnih sežignih peči za vodik, katerih vpliv smo modelirali s programom ASTEC v okviru projekta 7. OP EK SARNET2.

Na področju raziskav zgorevanja vodika smo na napravi HYKA A2 (KIT, Nemčija), prostornine 220 m³, izvedli poskus zgorevanja s širjenjem plamena navzgor UFPE (Upward Flame Propagation Experiment). Na osnovi poskusa smo organizirali mednarodni primerjalni izračun za nič-razsežne sistemske programe, v katerem so, poleg organizatorja (IJS), sodelovali še: AEP (Rusija), LEI (Litva), NUBIKI (Madžarska), RSE (Italija) in UJD SR (Slovaška). Zgorevanje vodika smo obravnavali tudi na integralni skali: s sistemskima programoma CONTAIN in ASTEC smo simulirali poskuse, izvedene na napravah ENACCEF (CNRS, Francija) in THAI (Becker Technologies, Nemčija). Pri slednjih, ki so bile izvedene v okviru projekta 7. OP EK CESAM, smo simulirali tako poskuse s širjenjem plamena navzgor, kot poskuse s širjenjem plamena navzdol.

Parna eksplozija se lahko razvije med težko nesrečo v jedrski elektrarni, če pride staljena sredica v stik s hladilno vodo. Povzroči jo intenziven in hiter prenos toplote s taline na hladilo. Raziskovali smo vpliv snovskih lastnosti taline na interakcijo taline z vodo. Razvili smo model strjevanja kapljic taline in kriterij finega razpada delno strjenih kapljic ter ju vključili v napredni računalniški program za simulacijo eksplozij MC3D, ki ga razvijajo v IRSN v Franciji. Model smo uspešno validirali z razpoložljivimi eksperimentalnimi podatki. Analizirali smo poskuse, ki so jih v okviru OECD projekta SERENA izvedli na napravah KROTOS (CEA, Francija) in TROI (KAERI, J. Koreja). Proučevali smo vpliv vsebnosti kovinskega cirkonija v oksidni talini na jakost parne eksplozije pri eksperimentih, opravljenih v okviru projektov SERENA in ZREX (ANL, ZDA), ter za pojasnitev eksperimentalnih rezultatov predlagali hipotezo o omejeni oksidaciji med mešalno fazo interakcije. Opravili smo analizo parne eksplozije v tipični vrelnovodni in tipični tlačnovodni jedrski elektrarni za različne scenarije izliva taline sredice. Dognali smo, da so tlačne obremenitve med parno eksplozijo največje

pri stranskem izlivu taline iz reaktorske posode. Raziskovati smo začeli interakcijo taline z natrijem v povezavi z inovativnim hitrim reaktorjem, hlajenim z natrijem. Dognali smo, da je za prenos toplote v podhlajenem natriju ključno območje predhodnega vretja.

CELOVITOST IN STARANJE STRUKTUR

Razvili smo novo ogrodje za avtomatsko generacijo modelov končnih elementov na podlagi podatkov, pridobljenih iz različnih eksperimentalnih tehnik (npr. rentgenske difrakcijske kontrastne tomografije). Najprej rekonstruiramo površine različnih gradnikov (npr. zrna in meje med njimi), nato na dobljenih površinah generiramo mreže končnih elementov, ki v končni fazi narekujejo mreženje še preostalega notranjega dela. Takšen pristop zagotavlja izgradnjo usklajene mreže na dveh sosednjih stičnih površinah in hkrati omogoča neodvisno in paralelno mreženje gradnikov. S pomočjo usklajene mreže lahko definiramo različne vezne modele med gradniki, kot so npr. plasti kohezivnih elementov za simulacijo poškodb na mejah zrn. Uporabnost metode smo demonstrirali na primeru izdelave modela za nerjavečo jekleno žico.

Razvili in primerjali smo dva modela razvoja medkristalnih napetostno-korozijskih razpok v polikristalnem skupku: model s kohezivnimi elementi in model s kohezivnimi površinami. Pokazali smo, da je pristop s kohezivnimi površinami lažje implementirati v model, medtem ko pristop s kohezivnimi elementi omogoča lažje sledenje nastanka in razvoja poškodbe. Razvoj simulacijskih metod je potekal v sodelovanju z JRC Evropske komisije v Petten (Nizozemska).

V sodelovanju s CEA (Francija) smo implementirali nov model kristalne plastičnosti za opis sevalnih poškodb na nivoju kristalnih zrn nerjavnega jekla. Izračunali smo porazdelitve normalnih komponent napetosti na mejah med zrn in tako ocenili lokalne odzive modelov žice in Voronojevih mozaikov pri različnih sevalnih obremenitvah.

Pri raziskavah toplotnega utrujanja smo razvili novo metodo za hitro in zanesljivo napovedovanje naključnih toplotnih obremenitev na površini cevi. Ideja sloni na aproksimaciji temperaturnih fluktuacij z linearno superpozicijo ravnih valov. Vhodne podatke, kot sta povprečna temperatura in varianca, pridobimo neposredno iz meritev. Nov pristop smo uspešno aplicirali na konkretnem primeru iz literature.

VERJETNOSTNE VARNOSTNE ANALIZE

Razvili smo nove verjetnostne modele, ki so časovno odvisni in vsebujejo večje število vplivnih parametrov kot obstoječi modeli.

Ocenjevali smo medsebojni vpliv zanesljivosti elektroenergetskega sistema in varnosti vanj vključenih jedrskih elektrarn. Razvili smo metodo za analizo pretokov moči in za analizo zanesljivosti vozlišč omrežij.

S pomočjo optimizacijske metode genetskih algoritmov smo optimizirali razporeditev delovanja elektrarn v elektroenergetskem sistemu v smislu čim manjših izpustov, čim manjših stroškov ter zanesljivega in varnega delovanja sistema.

Razvili smo novo metodo za optimizacijo vzdrževanja v jedrski elektrarni z upoštevanjem varnosti. Razvita metoda je aplicirana na model izbranega varnostnega sistema elektrarne. Dobljeni rezultati kažejo, da optimizacija vzdrževanja zmanjša tveganje, in tako izboljša varnost elektrarne. Posledice upoštevanja različnih omejitev na dosežene rezultate so bile raziskane in predstavljene.

Analizirali smo vpliv uvedbe porazdelitve verjetnosti za nerazpoložljivost parametrov na celotno nerazpoložljivost analiziranega sistema. Porazdelitev nerazpoložljivosti sistema je bila ocenjena z vzorčenjem Monte Carlo. Dobljeni rezultati kažejo, da je porazdelitev nerazpoložljivosti analiziranega sistema odvisna od značilnosti

porazdelitev verjetnosti osnovnih dogodkov in pomembnosti izbranih dogodkov. Odločanje na podlagi srednje vrednosti nerazpoložljivosti analiziranega sistema v nekaterih primerih lahko prozori podcenjevanje tveganja.

Ocenili smo vpliv izboljšanja obvladovanja popolne zatemnitve na varnost jedrske elektrarne. Analiza je bila opravljena z najnovejšimi determinističnimi in verjetnostnimi metodami in orodji, uporabljenimi na referenčnih modelih jedrskih elektrarn.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Izvedene so bile vse raziskave, predvidene v programu dela.

PRENOS TOPLOTE IN SNOVI

Direktno numerično simulacijo turbulentnega toka, ki smo jo med drugim uporabili za obravnavanje vezanega prenosa toplote, smo v jedrski tehniki uveljavili kot pomembno orodje za preučevanje turbulentnih tokov. Na področju turbulence smo simulirali tudi tok skozi vodoraven snop gorivnih palic z mešalnimi krilci in hlajenje površine s plinskimi curki. Pri slednjem smo uporabili metodo velikih vrtincev.

Razvoj trirazsežnih dvofluidnih modelov dvofaznih tokov sedaj omogoča prepoznavanje velikih medfaznih površin. Pristop je bil med drugim uporabljen za simulacijo ločenega toka filma vode in jedra zraka v navpični cevi.

Raziskave kritičnega toplotnega toka in podhlajenega vrenja so privedle do novih modelov samega kritičnega toplotnega toka in velikosti ustvarjenih mehurčkov.

Simulirali smo širjenje tlačnega vala v cevi vsled kondenzacije vodne pare, pri čemer je bil pri prehodu iz razslojenega v čepasti tok uporabljen trirazsežni popis.

Pri simulacijah prehodnih pojavov na eksperimentalnih napravah ter v tlačnovodni jedrski elektrarni smo uspešno prešli iz enorazsežnega programa RELAP5 na napredni program TRACE, ki v določenih sistemih uporablja večrazsežni popis.

Razvili smo metodo napovedovanja poškodbe ovoja bazena za izrabljeno gorivo.

TEŽKE NESREČE

Tok v atmosferi eksperimentalnih napravah zadrževalnega hrama smo simulirali na lokalni trenutni in volumnski skali, in s tem med drugim razvili simulacijske pristope za oceno učinka pasivnih avtokatalitskih sežignih peči za vodik.

Izveden je bil poskus zgorevanja vodika v eksperimentalni napravi zadrževalnega hrama.

Na področju modeliranja parnih eksplozij med težko nesrečo smo razvili model strjevanja kapljic taline za simulacijo stanja kapljic in rasti strjene skorje na njihovi površini med mešalno fazo. Z analizo osnovnih procesov ob interakciji taline z natrijem smo dognali, da prenos toplote poteka predvsem v prehodnem območju.

CELOVITOST IN STARANJE STRUKTUR

Razvili smo algoritme, ki iz eksperimentalno dobljene prostorske karakterizacije mikrostrukture nerjavnega jekla izdelajo trirazsežne modele kristalnih zrn in medkristalnih mej za neposredno uporabo v programu ABAQUS.

Prostorski model medkristalnih mej smo nadgradili z modelom kohezivnih površin, medtem ko smo z metodo kohezivnih elementov predstavili model napredovanja medkristalnih razpok na nivoju zrn.

VERJETNOSTNE VARNOSTNE ANALIZE

Razvili smo metodo za analiziranje povezave med varnostjo jedrskih elektrarn in zanesljivostjo elektroenergetskega sistema.

Razvite so bile nove metode in izvedene študije za analizo vpliva staranja komponent in sistemov na varnost elektrarne in za eksplicitno modeliranje dogodka odpovedi posamezne komponente, istočasno z večkratno odpovedjo s skupnim vzrokom.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Ni bilo sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	22549799	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Simulacije tokov s prosto površino in implementacija površinske napetosti v okviru algoritma za ostrenje medfazne površine v dvofluidnem modelu
		ANG	Simulations of free surface flows with implementation of surface tension and interface sharpening in the two-fluid model
	Opis	SLO	Razvili smo model površinske napetosti, ki ga je mogoče uporabiti v okviru trirazsežnega dvofluidnega modela dvofaznega toka nadgrajenega z metodo za zasledovanje medfazne površine. Dvofluidni model vsebuje ločeni gibalni enačbi za vsako od prisotnih faz. Novi model ustrezno razdeli prispevek sile površinske napetosti med obe fazi.
		ANG	Raziskave so umeščene v mednarodna prizadevanja za razvoj trirazsežnih dvofluidnih modelov, ki bodo pomenili kvalitativni preskok iz današnjega enorazsežnega dvofluidnega modeliranja jedrske termohidravlike.
	Objavljeno v	Elsevier Science; International journal of heat and fluid flow; 2009; Vol. 30, no. 4; str. 741-750; Impact Factor: 1.498; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.969; A': 1; WoS: DT, IU, PU; Avtorji / Authors: Štrubelj Luka, Tiselj Iztok, Mavko Borut	
		Tipologija	
2.	COBISS ID		24273191
			Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv hlajenja z več curki na prenos toplote in toplotne napetosti v hladilnem modulu diverterja za reaktor DEMO
		ANG	Influence of multiple jet cooling on the heat transfer and thermal stresses in DEMO divertor cooling finger

	Opis	SLO	Analizirali smo vpliv različnih konfiguracij curkov na karakteristike prenosa toplote in odziv materiala na toplotne obremenitve v hladilnem modulu diverterja fuzijskega reaktorja. Ugotovili smo, da sta optimalni konfiguraciji curkov z vidika prenosa toplote in napetostnih obremenitev različni. S simulacijami velikih vrtincev smo med prvimi pridobili informacije, ki niso direktno merljive, vendar so zelo pomembne za razumevanje turbulentnega toka in validacijo enostavnejših in hitrejših turbulentnih modelov (npr. RANS).	
		ANG	The impact of different multiple jet configurations on the heat transfer characteristics and material response to heat loads of the cooling module of a fusion reactor diverter was analysed. It was found out, that optimal configurations from the point of view of heat transfer and stress loading are different. Large Eddy simulations provided novel and important information, which is crucial for the understanding of turbulent flows and validation of simpler and faster models (e.g., RANS), but cannot be directly measured.	
	Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2011; Vol. 25, no. 2; str. 537-548; Impact Factor: 1.490;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.949; A': 1; WoS: RY; Avtorji / Authors: Končar Boštjan, Simonovski Igor, Draksler Martin		
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	27691559	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Hidrodinamski fini razpad delno strjenih kapljic taline med parno eksplozijo	
		ANG	Hydrodynamic fine fragmentation of partly solidified melt droplets during a vapour explosion	
	Opis	SLO	Predstavili smo kriterij s pomočjo katerega je mogoče oceniti pogoje za fini razpad delno strjenih kapljic taline ob prisotnosti hidrodinamskih sil med parno eksplozijo. Na podlagi analize eksperimentalnih podatkov in teoretičnega modela smo določili meje za fini razpad. Ob upoštevanju negotovosti razpoložljivih eksperimentalnih podatkov in snovnih lastnosti smo ocenili, da pri hidrodinamskem razpadu ne morejo sodelovati kapljice taline z debelino skorje nad 20 % polmera.	
		ANG	A criterion for the determination of the critical conditions for the hydrodynamic fine fragmentation of partly solidified melt droplets was introduced. Based on the performed experimental analysis, together with the theoretical analysis, the range of the critical conditions for the fine fragmentation of partly solidified droplets was established. The performed analysis for the corium material showed that a crust thickness greater than 20% of the droplet radius can be considered as strong enough to prevent any fine fragmentation during a typical fuel-coolant interaction explosion phase.	
Objavljeno v	Pergamon Press; International journal of heat and mass transfer; 2014; Vol. 76; str. 90-98; Impact Factor: 2.522;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; A': 1; WoS: DT, IU, PU; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Leskovar Matjaž, Bürger Manfred, Buck Michael			
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
4.	COBISS ID	26794279	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Modeliranje napredovanja medkristalnih razpok s kohezivnimi elementi na nivoju zrn	
		ANG	Cohesive element approach to grain level modelling of intergranular cracking	

	Opis	SLO	Predstavljen je model napredovanja medkristalnih razpok s kohezivnimi elementi na nivoju zrn. Model napove nastanek zgodnjih poškodb na presečiščih medkristalnih mej z zunanjimi površinami modela. Manjši delež poškodb se razvije v notranjosti modela, predvsem v okolici trojnih linij, kjer se hkrati stika več zrn. Izpeljali smo tudi analitično oceno za odziv kohezivnega elementa v primeru viskozne regulacije pri reševanju težav s konvergenco. Članek prinaša pomemben napredek pri večnivojskem modeliranju nastanka in napredovanja kratkih medkristalnih razpok.	
		ANG	A cohesive element approach to modelling of intergranular cracking on the grain level is presented. It shows that most of the early damage is initiated at intersections of grain boundaries with the external surfaces of the model. A smaller fraction of damage develops inside the model, mostly at the triple lines where several grain boundaries meet. A novelty in this work is the developed analytical expression for assessing the cohesive element response when using viscous regularization for alleviating the convergence issues. The paper contributes significantly to the advancement of the multiscale modelling of the initiation and early growth of short intergranular cracks.	
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Engineering fracture mechanics; 2013; Vol. 110; str. 364-377; Impact Factor: 1.662;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.377; WoS: PU; Avtorji / Authors: Simonovski Igor, Cizelj Leon		
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
	5.	COBISS ID	26321959	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Podaljšanje časa shajanja ob izpadu vsega električnega napajanja in vpliv na jedrsko varnost	
		ANG	Extension of station blackout coping capability and implications on nuclear safety	
	Opis	SLO	Analiziran je bil vpliv podaljšanja časa obvladovanja dogodka izpada električnega napajanja na jedrsko varnost. Analiza je bila narejena z najsosodobnejšimi integriranimi determinističnimi in verjetnostnimi varnostnimi metodami in orodji z uporabo referenčnih modelov jedrskih elektrarn. Prvi smo pokazali uporabnost integriranih determinističnih in verjetnostnih varnostnih metod pri primerjavi varnostnih prispevkov raznih predlogov izboljšav jedrskih elektrarn po nesreči v Fukušimi na Japonskem leta 2011.	
		ANG	The implications of the strengthening of the station blackout mitigation capability on the safety of the nuclear power plant are analysed. The assessment is done with the state-of-the-art deterministic and probabilistic methods and tools with applications to the reference models of nuclear power plants. This is the first of a kind demonstration of the applicability of integrated deterministic and probabilistic safety assessment methods to compare safety advantages of different proposal changes following the Fukushima accident in Japan in 2011.	
	Objavljeno v	North-Holland; Nuclear Engineering and Design; 2013; Vol. 255; str. 16-27; Impact Factor: 0.972;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.957; WoS: RY; Avtorji / Authors: Volkanovski Andrija, Prošek Andrej		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek			

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	23607847	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Opis varnostnih karakteristik potencialnih reaktorjev za jedrsko elektrarno Krško 2
		ANG	Safety characteristics of potential reactors for Krško 2 nuclear power plant
	Opis	SLO	Namen projekta je bil identifikacija in opis varnostnih karakteristik jedrskih reaktorjev tretje generacije AP1000, EPR, APWR in ATMEA1, ki bi lahko bili primerni za drugo jedrsko elektrarno v Krškem. Identifikacija je bila izvedena na osnovi opisov struktur, sistemov in komponent in njihovega integralnega delovanja v dokumentaciji proizvajalcev. Identifikacija varnostnih karakteristik je bila organizirana v skladu z varnostno filozofijo oz. varnostnimi standardi Mednarodne agencije za atomsko energijo OZN. Izveden je bil tudi pregled varnostnih analiz v skladu s klasifikacijo upravnega organa za jedrsko varnost ZDA (US NRC). Znanje raziskovalne skupine je bilo tako uporabljeno za neposredno podporo morebitnemu investitorju v drugi blok jedrske elektrarne v Krškem.
		ANG	The goal of the project was the identification and description of safety characteristics of third generation nuclear reactors AP1000, EPR, APWR and ATMEA1, which might be considered as potential candidates for the 2nd nuclear power plant in Krško. The identification of safety characteristics was based on the description of structures, systems, components and their integral performance provided in the vendors' documentations. The identification was performed according to the safety philosophy and safety standards of the UN International Atomic Energy Agency. The review of safety analyses was also performed, in accordance with the classifications of the U.S. Nuclear Regulatory Commission. The knowledge of the research group has thus been applied for a direct support to the potential investor in the second Slovenian nuclear power plant.
	Šifra	F.30	Strokovna ocena stanja
	Objavljeno v	2010; Avtorji / Authors: Fabjan Ljubo, Čepin Marko, Kančev Duško, Kljenak Ivo, Končar Boštjan, Leskovar Matjaž, Mavko Borut, Petrič Zoran, Prošek Andrej, Snoj Luka, Tiselj Iztok, Volkanovski Andrija	
	Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija
2.	COBISS ID	27387175	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Second Periodic Safety Review of Krško nuclear power plant
		ANG	Drugi obdobjni varnostni pregled jedrske elektrarne Krško
	Opis	SLO	Verjetnostne varnostne analize so eden od 15 varnostnih faktorjev, ki so bili analizirani v sklopu 2. obdobjnega varnostnega pregleda jedrske elektrarne (JE) Krško. Cilj revizije analiz tveganja je bil določiti ustreznost zaščite JE Krško pred notranjimi in zunanjimi nevarnostmi, upoštevajoč dejansko zasnovo elektrarne, dejanske značilnosti območja, dejansko stanje sistemov, struktur in komponent ter njihova predvidena stanja ob koncu obdobja, ki ga varnostni pregled pokriva, kot tudi najsodobnejše analitične metode, varnostne standarde in znanje. Na podlagi pregleda so bili predlagani nizi priporočil in zahtev za varnostni faktor verjetnostnih

			varnostnih analiz.
			Delo je primer neposrednega prispevka raziskovalnega programa k formalnemu ocenjevanju in povečevanju varnosti jedrske elektrarne Krško.
		ANG	The "Probabilistic Safety Analyses" (PSA) safety factor is one of the 15 safety factors that were reviewed within the scope of the 2nd Periodic Safety Review (PSR) of the Krško nuclear power plant (NPP). The objective of the review of (safety factor) PSA was to determine the adequacy of the protection of the Krško NPP against internal and external hazards, taking into account the actual plant design, actual site characteristics, the actual condition of the systems, structures and components and their predicted state at the end of the period covered by the PSR, as well as current analytical methods, safety standards and knowledge. Based on the review, recommendations and requirements for PSA safety factor were formulated. This is an example of a direct contribution of the research program to the formal evaluation and improvements of the safety of the Slovenian Krško nuclear power plant.
	Šifra		F.30 Strokovna ocena stanja
	Objavljeno v		2013; Avtorji / Authors: Volkanovski Andrija, Kančev Duško, Gjorgiev Blaže, Cizelj Leon
	Tipologija		2.13 Elaborat, predštudija, študija
3.	COBISS ID		25637671 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Jedrska elektrarna Fukušima Daiči - leto potem
		ANG	Fukushima Daiichi nuclear power plant - One year later
	Opis	SLO	Člani programske skupine v številnih objavah v javnih medijih (časopisi in revije, radio in televizija, internet) na primeren in razumljiv način širši javnosti razlagajo dogodke in vprašanja iz področja jedrske energije. V obdobju 2009-2014 je bilo tovrstnih prispevkov več kot 100. To je zelo pomemben prispevek k popularizaciji znanosti in percepciji varnosti jedrske energije v javnosti.
		ANG	Through various public media (newspapers and magazines, radio and television, internet), members of the research group explain to the public events and issues related to nuclear energy in an adequate and understandable manner. During the period 2009-2014, there were more than 100 such contributions. This is a very important contribution to the popularization of science and to the public perception of safety aspects of the nuclear power.
	Šifra		F.35 Drugo
	Objavljeno v		Delo; Delo; 2012; Letn. 54, št. 56; str. 16; Avtorji / Authors: Cizelj Leon
	Tipologija		1.22 Intervju
4.	COBISS ID		27363111 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Strokovna ocena remontnih del, posegov in preskusov med zaustavitvijo Nuklearne elektrarne Krško zaradi menjave goriva ob koncu 26. gorivnega cikla
		ANG	Expert opinion on Krško nuclear power plant outage activities and tests during refueling at the end of 26th fuel cycle.
			Člani skupine v okviru Instituta "Jožef Stefan" kot pooblaščen organizacije za jedrsko in sevalno varnost v okviru menjave goriva ob koncu gorivnih ciklov jedrske elektrarne (JE) Krško izvajajo del nadzora nad posameznimi

	Opis	SLO	remontnimi aktivnostmi ter podajajo strokovno oceno opravljenih remontnih del, posegov in preskusov. V okviru svojih pristojnosti preverjajo, če so posamezna dela in preskusi opravljeni v skladu z zahtevanimi predpisi in specifikacijami. S tem prispevajo k sevalni varnosti in varnemu obratovanju JE Krško.	
		ANG	Members of the research group, as part of the Jožef Stefan Institute as an authorized technical safety organisation, take part in the overseeing of outage activities and tests at the end of fuel cycles in the Krško nuclear power plant (NPP). They verify that the outage activities and tests are performed in accordance with the required regulations and technical specifications. The activities therefore contribute towards meeting radiation protection standards and to the safe operation of the Krško NPP.	
			This is an example of the direct support in the decision making of the Slovenian nuclear regulatory authority.	
	Šifra	F.30 Strokovna ocena stanja		
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Fabjan Ljubo, Cizelj Leon, Berar Ovidiu-Adrian, Connes Raphaël, Garrido Oriol Costa, Draksler Martin, Gjorgiev Blaže, Henry Romain, Kavšek Darko, Kljenak Ivo, Leskovar Matjaž, Matkovič Marko, Mavko Borut, Mikuž Blaž, Oder Jure, Prošek Andrej, El Shawish Samir, Tekavčič Matej, Tiselj Iztok, Trkov Andrej, Uršič Mitja, Volkanovski Andrija		
Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija			
5.	COBISS ID	23133479		Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Strateški raziskovalni načrt tehnološke platforme za trajnostno jedrsko energijo	
		ANG	Strategic research agenda of the sustainable nuclear energy technology platform	
	Opis	SLO	Člani skupine so sodelovali pri pripravi 1. izdaje "Strategic Research and Innovation Agenda", ki določa uravnoteženo strategijo raziskav na področju jedrske energije. Publikacijo je v maju 2009 izdala Evropska tehnološka platforma Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP). Publikacija opredeljuje prioritete raziskave za 2. in 3. generacijo jedrskih reaktorjev (varnost in tveganje; težke nesreče; izboljšanje delovanja reaktorjev; sistemi, strukture in komponente; razvoj goriva, ravnanje z odpadki in izrabljenim gorivom, razgradnja; inovativni dizajn in tehnologija lahkovodnih reaktorjev) in projekte reaktorjev 4. generacije: reaktorji hlajeni s tekočim natrijem, tekočim svincem, ter s plinom.	
		ANG	Raziskovalno strategijo pri odločanju o prednostnem financiranju raziskav uporablja Evropska komisija.	
			Members of the research group have collaborated in the preparation of the 1st edition of the "Strategic Research and Innovation Agenda", which defines a balanced strategy of research in the field of nuclear energy. The agenda was published in May 2009 by the European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP). The publication describes the research priorities for generations II and III nuclear reactors (safety and risk; severe accidents; improvement of reactor operation; systems, structures and components; fuel development; waste and spent fuel management, decommissioning; innovative design and technology of light water reactors) and generation IV reactors: sodium-cooled reactors, lead-cooled reactors, and gas-cooled reactors.	

		The strategic research agenda is the base document used by the European Commission for the prioritization of the resources in nuclear safety research.
Šifra	D.03	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
Objavljeno v	European Commission; 2009; 86 str.; Avtorji / Authors: Nagel Gerhard, Cizelj Leon, Kljenak Ivo	
Tipologija	2.02	Strokovna monografija

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Člani programska skupine so junija 2014 za podjetje GEN energija izvedli sedmodnevni tečaj (56 šolskih ur) o jedrski termohidravliki. Tečaj je zajemal termodinamiko, mehaniko tekočin, prenos toplote, sistemske programe za termohidravlične analize, osnove reaktorske fizike in numerične metode. Namen tečaja je bil podati potrebna predznanja za uporabo sistemskih programov za simulacije projektnih in težkih nesreč v jedrskih elektrarnah.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

PRENOS TOPLOTE IN SNOVI

Razvoji modelov vrenja in kritičnega toplotnega toka prispevajo k razvoju znanosti na področju prenosa toplote v dvofaznih tokovih. Simulacije ločenih tokov filma kapljevine ob steni in jedra plina v navpični cevi prispevajo k raziskavam razvoja tokovnih vzorcev v dvofaznem toku plin-kapljevina.

Direktne numerične simulacije turbulentnega prenosa toplote prispevajo k raziskavam turbulence. Raziskave hlajenja površine s turbulentnimi curki so pomembne za razvoj znanosti na področju metod, ki povečujejo prenos toplote med trdno površino in tekočino.

Raziskave na področju numeričnih simulacij turbulentnih tokov v gorivnem svežnju predstavljajo prispevek na področju dinamike tekočin v kompleksnih geometrijah.

Obravnave določenih pojavov, vključene v raziskave na skalah sistemov jedrske elektrarne, prav tako prispevajo k razvoju znanosti. Posebej pomembne so raziskave pojavov, ki se v preteklosti niso upoštevali pri simulacijah (npr. večrazsežni tokovni pojavi v reaktorski posodi). Simulacije prehodnih pojavov v hladilnem sistemu reaktorja na sistemski skali prispevajo k preverjanju in izboljševanju modelov dvofaznega toka plin-kapljevina s prenosom toplote in snovi.

TEŽKE NESREČE

Raziskave mešanja atmosfere v zadrževalnem hramu prispevajo k raziskavam na področju vzgonskih tokov.

Raziskovanje zgorevanja vodika je pomembno za razumevanje mehanizmov širjenja plamena.

Raziskave parnih eksplozij prispevajo k izboljššanemu razumevanju mehanizmov strjevanja in razpada kapljic taline reaktorske sredice.

CELOVITOST IN STARANJE STRUKTUR

Razvoj večnivojskih simulacijskih modelov sodi med najbolj aktivna področja znanosti in tehnologij materialov in sorodnih področij. Naš predlog celovitega postopka za avtomatsko izdelavo modelov eksperimentalno opredeljenih mikrostruktur s končnimi elementi je med prvimi v svetu. Daje nam tudi pomembno konkurenčno prednost pri razvoju modelov nastanka

in napredovanja razpok v realnih mikrostrukturah. Delo je hkrati pomembno za jedrsko varnost in za znanosti o materialih v splošnem.

VERJETNOSTNE VARNOSTNE ANALIZE

Raziskave predstavljajo prispevek na področjih teorije verjetnosti in matematičnega popisa zanesljivosti kompleksnih sistemov na osnovi integracije lastnosti posameznih komponent. Delo je hkrati pomembno za jedrsko varnost in za znanost o zanesljivosti kompleksnih sistemov v splošnem. Pomemben znanstveni prispevek je razvoj novih algoritmov za hevristično optimizacijo in njihova aplikacija na realne optimizacijske probleme.

ANG

HEAT AND MASS TRANSFER

Simulations and development of boiling and critical heat flux models contribute to the development in the field of heat transfer and phase change in two-phase flows. Simulations of separated flow of liquid film and gas core in a vertical tube contribute to the research on flow pattern development in two-phase gas-liquid flow.

Direct numerical simulations of turbulent heat transfer contribute to research on turbulence. Investigations of multiple jet impingement cooling contribute to the development of science in the field of heat transfer enhancement methods.

Research in the field of numerical simulations of turbulent flows in fuel bundles constitutes a significant contribution in the field of fluid dynamics in complex geometries.

The research of specific phenomena, included in research on the scale of plant systems, also contributes to science development. Research of phenomena, which were not taken into account earlier in simulations (such as multi-dimensional flow phenomena in the reactor vessel) are especially important. Simulations of thermal-hydraulic transient phenomena in the reactor cooling system on the system scale contribute to validation and improvements of two-phase flow models with heat and mass transfer.

SEVERE ACCIDENTS

Research on atmosphere mixing in the containment contribute to research in the field of buoyant flows.

Research of hydrogen combustion is important for understanding the mechanisms of flame propagation.

Research on steam explosions contributes to the understanding of mechanisms of core melt droplet solidification and breakup.

STRUCTURAL SAFETY ANALYSES

The development of multiscale simulation models is among the most active fields in material science and related disciplines. Our proposal of a complete procedure to automatically develop finite elements models of experimentally determined microstructures is among the first of a kind in the world. This also gives us a competitive edge for the development methods predicting the crack initiation and growth in realistic microstructures. The work is important for both nuclear safety and materials science in general.

PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT

The research represents a contribution in the fields of probability theory and of the mathematical description of reliability of complex systems, based on the integration of the properties of individual components. The work is important for both nuclear safety and reliability science in general.

An important scientific contribution is the development of new heuristic optimization algorithms and their application to real optimization problems.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati vseh sklopov raziskav in njihova medsebojna povezava ter dopolnjevanje tvorijo teoretično osnovo za varnostne analize, povezane z varnim in stabilnim obratovanjem jedrske elektrarne (JE) Krško ter za izpeljavo strokovnih nalog za JE Krško, upravljalca podjetje GEN energija, in Upravo RS za jedrsko varnost. Rezultati tako prispevajo neposredno in posredno h krepitvi nivoja varnostne kulture v Sloveniji.

Podrobneje: raziskave na področju prenosa toplote in snovi ter težkih nesreč, tudi v kombinaciji z raziskavami celovitosti struktur in verjetnostnimi analizami, so pomembne predvsem za interdisciplinarne analize in strokovne naloge, ki zadevajo prehodne pojave in hipotetične nezgode. S tem prispevajo k trajnostnemu zagotavljanju stabilne dobave konkurenčne in okolju prijazne električne energije, ter varovanju okolja in prebivalcev. Dodatne raziskave na področju celovitosti in staranja struktur omogočajo natančnejšo napoved življenjske dobe pomembnih komponent JE Krško, kar ima prav tako neposreden vpliv na zagotavljanje dobave električne energije. Raziskave na področju verjetnostnih varnostnih analiz in tveganja prispevajo k vpeljavi verjetnostnih metod na osnovi tveganja v procese odločanja in k razvoju predpisov. Cilji vseh raziskav so zastavljeni tako, da omogočajo neposreden prenos novega znanja v podporo podaljšanju obratovanja obstoječe in predvideni gradnji nove jedrske elektrarne v Sloveniji.

Pomembnost raziskav na splošnem področju jedrske varnosti (ki zadeva tudi Slovenijo) je še posebej pokazala nesreča v jedrski elektrarni Fukušima na Japonskem (marec-april 2011), kjer je bilo potrjeno, da je napoved nadaljnjega poteka nesreče pomembna za ustrezno ukrepanje in omejevanje posledic.

Poleg tega je raziskovalni program povezan s študijskim programom 2. stopnje Jedrske tehnike in doktorskim študijem Jedrske tehnike, oba na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Na ta način je omogočen prenos znanja naslednjim generacijam in šolanje novih ekspertov.

ANG

The results of all aspects and proposed fields of research and their mutual interrelation and complementarity form a theoretical basis for safety analyses, related with the safe and stable operation of the Krško nuclear power plant (NPP), as well as for the execution of expert tasks for the Krško NPP, the utility company GEN energy and the Slovenian Nuclear Safety Administration. The results thus directly and indirectly contribute to the level of the safety culture in Slovenia.

Research in the fields of heat and mass transfer and severe accidents, including combined research with structural integrity and probabilistic safety analyses, are especially important for interdisciplinary analyses and expert tasks that involve transient phenomena and hypothetical accidents. In this way, the research contributes to the long-term availability of competitive electrical energy, and to the protection of the population and the environment. Research in the field of structural integrity and ageing enables a more accurate prediction of the lifetime of important components of the Krško NPP, which has a direct influence on the availability of electricity. Research in the field of probabilistic safety assessment and risk contributes to the establishment of risk-informed decision-making and accelerates the development of regulations and standards based on risk analyses. The purposes of all research activities are set to enable direct knowledge transfer in support of the life-time extension of the existing plant and the planned construction of a new nuclear plant in Slovenia.

The importance of research in the general field of nuclear safety (which is also relevant for Slovenia) has especially been shown by the accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan (March-April 2011), where it was confirmed, that the prediction of the further course of an accident is important for adequate mitigation and limiting of the consequences.

The research programme is also related to the 2nd degree University studies program "Nuclear engineering" and to the Doctoral studies program "Nuclear engineering", both at the Faculty of Mathematics and Physics at the University of Ljubljana. This allows the transmission of knowledge to next generations and the education of new experts.

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹**10.1. Diplome¹²**

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	3
bolonjski program - II. stopnja	4
univerzitetni (stari) program	27

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
25627	Luka Štrubelj	☐	☒	☒	
29182	Mitja Uršič	☐	☒	☐	
29889	Duško Kančev	☐	☒	☒	
32341	Blazhe Gjorgiev	☐	☒	☒	
0	Matjaž Ferjančič	☒	☐	☐	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
25627	Luka Štrubelj	☐	☒	C - Gospodarstvo	
29889	Duško Kančev	☐	☒	E - Tujina	
32341	Blazhe Gjorgiev	☐	☒	E - Tujina	
29182	Mitja Uršič	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	

Legenda zaposlitev:

A - visokošolski in javni raziskovalni zavodi**B** - gospodarstvo**C** - javna uprava**D** - družbene dejavnosti**E** - tujina**F** - drugo**12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
34611	Raphael Stephae Connes	C - študent – doktorand	6	
0	Zhengxiang Chen	C - študent – doktorand	24	
0	Adrien Giacosa	C - študent – doktorand	10	
0	Alexandre Vigouroux		8	

		C - študent – doktorand		
0	Ricard Mas Fillol	C - študent – doktorand	5	
0	Youcef Bouaichaoui	D - poddoktorand	3	
0	Imron Tarsono Rusmana	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	John Mina Marquez	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Mustafa Karam Raheema	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Thi Loan Nguyen	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Morad Khalid Hamad	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Luis Antonio Estrada Don	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Joao de Deus Pinheiro Fil	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Alexandra Sitdikova	C - študent – doktorand	2	
0	Dinesh Singh	C - študent – doktorand	2	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent – doktorand iz tujine
- D** - poddoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

6. OKVIRNI PROGRAM EVROPSKE KOMISIJE

- NURESIM European Platform for Nuclear Reactor Simulations (I. Tiselj)
- NULIFE Nuclear Plant Life Prediction (L. Cizelj)
- ENEN-II Consolidation of European Nuclear Education, Training and Knowledge Management (B. Mavko)

7. OKVIRNI PROGRAM EVROPSKE KOMISIJE

- ARCADIA Assessment of Regional Capabilities for New Reactors Development (L. Cizelj)
- NEWLANCER New Member States Linking for an Advanced Cohesion in Euratom Research (L. Cizelj)
- THINS Thermal Hydraulics of Innovative Nuclear Systems (I. Tiselj)
- NURISP Nuclear Reactor Integrated Simulation Project (I. Tiselj)
- NURESAFE Nuclear Reactor Safety Simulation Platform (B. Končar)
- Modelling of High Flux Helium Cooling Divertor Design (B. Končar)
- Divertor High Flux Helium Cooling 4.5.1 FU (B. Končar)
- SARNET2 Severe Accident Research Network of Excellence Phase 2 (M. Leskovar)
- CESAM Code for European Severe Accident Management (I. Kljenak)
- MULTIMETAL Structural Performance of Multimetal Components (L. Cizelj)
- ASAMPSA_E Advanced Safety Assessment Methodologies: Extended PSA (A. Volkanovski)
- ENEN III European Nuclear Education Network Training Schemes (L. Cizelj)
- TRANSNUSAFE Training Scheme on Nuclear Safety Culture (B. Mavko)

OSTALI VEČSTRANSKI PROJEKTI EU

- Helium-Cooled Divertor Design and Fabrication Analysis (B. Končar)
- EU Support action – Divertor High Flux Helium Cooling (B. Končar)

- EU Support action – MHEST Association Euratom (B. Končar, M. Leskovar)
- EURATOM Fusion RU-FU EUROFUSION (B. Končar)
- EURATOM Fusion Education-ED-FU (B. Končar)
- EURATOM Fusion Plant Level System Engineering-PMI-PPPT-FU (B. Končar)
- BRIDGE Better undeRstandIng and recoGnition of nuclEar skills and qualifications (L. Cizelj)

DRUGI VEČSTRANSKI PROJEKTI

- US NRC – CAMP Code Application and Maintenance Program (B. Mavko)
- INTAS Full Condensation-Induced Water Hammer in Vertical Vessels (I. Tiselj)
- OECD/NEA SETH2 Simulation of Thermal-Hydraulic Conditions in Water Reactor Containments (B. Mavko)
- OECD/NEA – SERENA Steam Explosion Resolution for Nuclear Applications (M. Leskovar)
- INSC Project Training and Tutoring for Experts of the Nuclear Regulatory Authorities and their Technical Safety Organisations for Developing and Strengthening Research (L. Cizelj)

BILATERALNI MEDNARODNI PROJEKTI CEA-ARRS

- Mechanisms of Flow Boiling in Nuclear Technology (B. Končar)
- Application and Validation of Multiscale Method for Two-Phase Flow Analyses in Nuclear Reactors (B. Končar)
- Modelling of Condensation Induced Water Hammer and Boiling Crisis in Subcooled Boiling Flow (B. Končar)
- Simulation of Atmosphere Stratification Breakup Experiments with Lumped-Parameter Codes (I. Kljenak)
- Simulation of Hydrogen Combustion Experiments in the ENACCEF Experimental Facility (I. Kljenak)
- Influence of Oxidation and Large Solidification Temperature Range on Fuel-Coolant Interaction (M. Leskovar)
- Influence of Melt Solidification on Steam Explosion (M. Leskovar)
- Analysis of Ex-Vessel Molten Fuel-Coolant Interaction (M. Leskovar)
- Nuclear Safety and Security of the Power Network (L. Cizelj)
- Comprehensive and Reliable Prediction of LWR's Internals Mechanical Behavior Based on Microstructure-Informed Modeling (S. El Shawish)

ČLANSTVO V MEDNARODNIH ASOCIACIJAH IN TEHNOLOŠKI PLATFORMI

- ENEN: European Nuclear Education Network (L. Cizelj član upravnega odbora 2010-2012)
- NUGENIA: Nuclear Generation II & III Association
- SNETP: Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (Član upravnega odbora: I. Kljenak 2011-2013, L. Cizelj 2013-2015)
- ETSON: European Technical Safety Organisation Network

UREDNIKI REVIJ

- Urednik SCI revije Nuclear Engineering and Design (B. Mavko)
- Urednika SCI revije Science and Technology of Nuclear Installations (L. Cizelj, I. Tiselj)
- Gostujoča urednika SCI revije Nuclear Engineering and Design Special Issues NENE 2009, 2011, 2013 (L. Cizelj, I. Kljenak)

VODILNI ORGANIZATORJI MEDNARODNIH KONFERENC

- Predsednik programskega odbora NENE 2009, NENE 2013 Nuclear Energy for New Europe (L. Cizelj)
- Predsednika organizacijskega odbora NENE 2009, NENE 2013 Nuclear Energy for New Europe (B. Končar, M. Uršič)
- Člana programskega odbora konferenc ICONE International Conference on Nuclear Engineering (L. Cizelj, I. Kljenak)
- Član programskega odbora konferenc ERMSAR European Review Meeting on

Severe Accident Research (I. Kljenak)
 — Član programskega odbora konferenc NESTET Nuclear Education and Training (L. Cizelj)
 — Člani programskega odbora konferenc NENE Nuclear Energy for New Europe (I. Kljenak, B. Končar, B. Mavko, I. Tiselj)
 — Član izvršilnega odbora konference NURETH15 Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (B. Mavko)
 — Člana programskega odbora konference NURETH15 (A. Prošek, B. Mavko)
 — Člana programskega odbora konferenc HND Croatian Nuclear Society (B. Mavko, A. Prošek)

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

— Izdelava strokovnega mnenja za spremembo Updated Safety Analysis Report in Technical Specifications Nuklearne elektrarne Krško "Replacement of the DEH turbine" (L. Fabjan)
 — Strokovna ocena remontnih del v Nuklearni elektrarni Krško 2009 (L. Fabjan)
 — Opis varnostnih karakteristik reaktorjev za jedrsko elektrarno Krško II (L. Fabjan)
 — Strokovna ocena remontnih del v Nuklearni elektrarni Krško 2010 (L. Fabjan)
 — Izdelava strokovnega mnenja za analize MAAP "Popolna izguba napajanja in čas odpovedi zadrževalnega hrana" (A. Prošek)
 — Obvladovanje težkih nesreč (M. Leskovar)
 — Strokovno mnenje za Nuklearno elektrarno Krško "Modifikacija 599EEL – Izboljšanje sistema neodvisnega električnega napajanja v sili" (L. Fabjan)
 — Podpora 2. obdobju varnostnemu pregledu Nuklearne elektrarne Krško Področje: varnostne analize (L. Cizelj)
 — Strokovna ocena remontnih del, posegov in preskusov med zaustavitvijo Nuklearne elektrarne Krško 2012 (L. Fabjan)
 — Strokovna ocena remontnih del, posegov in preskusov med zaustavitvijo Nuklearne elektrarne Krško in menjavo goriva med remontom 2013 (L. Fabjan)

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Varno upravljanje in nadzorovanje varnosti jedrskih objektov po načelih najboljše znanosti in izkušenj (best-available-science, best-available-experience) je danes uveljavljeno v vseh naprednih jedrskih državah po svetu in že samo po sebi kliče po dolgoročnem partnerstvu vseh jedrskih deležnikov v podporo znanosti. Nova znanja o varnosti delujočih jedrskih elektrarn, ki nastanejo z raziskavami, je v takih okoljih mogoče razmeroma enostavno uporabiti v vsakdanji praksi, tako upravljavcev jedrskih elektrarn, ki skrbijo za varno delovanje, kot tudi upravnih organov, ki varno delovanje nadzirajo.

Pomemben del dejavnosti sodelavcev raziskovalnega programa je zato usmerjen v neposredno tehniško svetovanje upravljavcem in izdelovalcem jedrskih elektrarn. To poteka doma neposredno za jedrsko elektrarno v Krškem ali njenega solastnika Gen energijo d.o.o., v tujini pa praviloma v sklopu projektov okvirnih programov (EURATOM), ki jih sofinancira Evropska komisija.

Sodelavci raziskovalnega programa smo tudi bistven del strokovnega jedra pooblaščenega izvedenca za jedrsko in sevalno varnost (Institut »Jožef Stefan«). Ključna naloga pooblaščenega izvedenca je v tem, da upravnemu organu nudi znanstveno in tehniško podporo pri odločanju. Pooblaščen izvedenci torej

predstavljamo od industrije neodvisne centre znanja in izkušenj ter delujemo v dobro vseh državljanov. Zato smo povsod po Evropi praviloma tudi nepogrešljivi pri gradnji in vzdrževanju zaupanja javnosti v varnost jedrskih objektov. Našo mednarodno primerljivost med drugim dokazuje tudi članstvo v evropskem združenju pooblaščenih izvedencev jedrske in sevalne varnosti ETSON.

Zelo pomembno je tudi, da se nova spoznanja nemudoma prenesejo tudi v izobraževalni proces. Raziskovalci programske skupine smo tudi pedagoško jedro edinega študija jedrske tehnike v Sloveniji, ki poteka na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Študij poteka na 2. (magisterij) in 3. (doktorat) bolonjski stopnji in je polnopravni član evropskega združenja za jedrsko izobraževanje ENEN.

Globalni rezultat vseh teh aktivnosti je povečana varnost jedrskih objektov. Raziskovalni program s tovrstnimi dejavnostmi izkazuje razmeroma visoko stopnjo tehnološke zrelosti. Za dolgoročno ohranjanje visoke stopnje tehnološke zrelosti pa je bistvenega pomena prav močna in dolgoročno stabilna raziskovalna dejavnost.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	☒ DA ☐ NE
potrebni finančni vložek	100.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	Dostop oziroma skupno upravljanje do programske in strojne opreme, s katero razpolaga programska skupina. V nekaj začetnih letih bi bila zelo smiselna tudi fizična bližina raziskovalcev v programski skupini in sodelavcev morebitnega podjetja.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Zasledovanje velikih turbulentnih struktur v toku tekoče kovine

Tekoče kovine so najbolj verjetna hladila bodočih hitrih jedrskih reaktorjev. Turbulentni prenos toplote v tekočem natriju smo analizirali z direktno numerično simulacijo toka v kanalu hlajenem s tekočino s Prandtlovim številom 0,01. Uporabili smo računsko domeno, ki je nekajkrat daljša in širša od domen, ki se uporabljajo običajno. Zato smo lahko opisali tudi zelo velike turbulentne strukture, ki so nevidne v hitrostnem, vendar nezanemarljive v temperaturnem polju. Te velike turbulentne strukture je zaradi njihove relativne šibkosti glede na prevladujoče turbulentne strukture težko identificirati.

Naše raziskave so pokazale, da je v turbulentnem toku tekoče kovine velike strukture mogoče opazovati preko makroskopskih lastnosti temperaturnega turbulentnega polja z merjenjem temperaturnih fluktuacij.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Obveščanje javnosti o jedrski varnosti in jedrski energiji

Število prispevkov članov programske skupine na temo jedrske varnosti in jedrske energije v medijih ter poljudnoznanstveni literaturi v Sloveniji, ki jih je posredno sprožila nesreča v jedrski elektrarni Fukušima Daiči po velikem vzhodno japonskem potresu v marcu 2011, je v letu 2014 preseglo število 100. V prispevkih so različni vidiki uporabe jedrske energije razloženi na način, ki je razumljiv večini prebivalstva.

Gre za izjemen prispevek k obveščanju splošne in strokovne javnosti o znanstvenih dejstvih in dognanjih, torej tudi k popularizaciji znanosti v splošni in strokovni javnosti. Poleg tega, tovrstni prispevki prispevajo k boljši obveščenosti javnosti o smiselnosti različnih energijskih virov ter ustrezno prispevajo k odločitvam dolgoročni energetske preskrbi Slovenije.

Na portalu <http://www.youtube.com> smo odprli tudi kanal z animiranimi rezultati simulacij programske skupine.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Institut "Jožef Stefan"

Leon Cizelj

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/9

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je

dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

A0-F9-BA-70-ED-50-34-CB-BD-E9-59-25-4E-44-B2-DB-62-DF-2F-AD

Priloga 1

TEHNIKA

2.13 Procesno strojništvo

Dosežek:

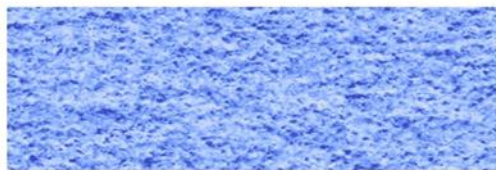
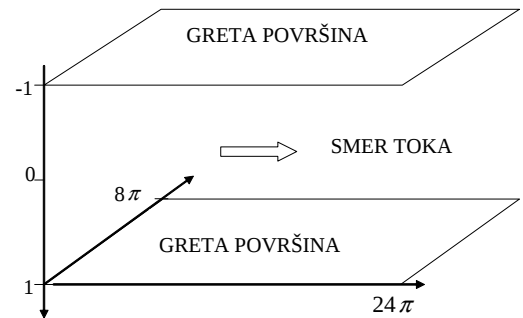
Zasledovanje velikih turbulentnih struktur v toku tekoče kovine

TISELJ, Iztok. Tracking of large-scale structures in turbulent channel with direct numerical simulation of low Prandtl number passive scalar. *Physics of fluids*,, 2014, vol. 26, no. 12.

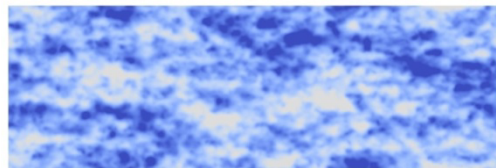
TISELJ, Iztok, ODER, Jure, CIZELJ, Leon. Double-sided cooling of heated slab : conjugate heat transfer DNS. *International journal of heat and mass transfer*, 2013, vol. 66, str. 781-790

Tekoče kovine so najbolj verjetna hladila bodočih hitrih jedrskih reaktorjev.

Turbulentni prenos toplote v tekočem natriju smo analizirali z direktno numerično simulacijo toka v kanalu hlajenem s tekočino s Prandtlovim številom 0.01.



Trenutno polje fluktuacij hitrosti v sredini kanala

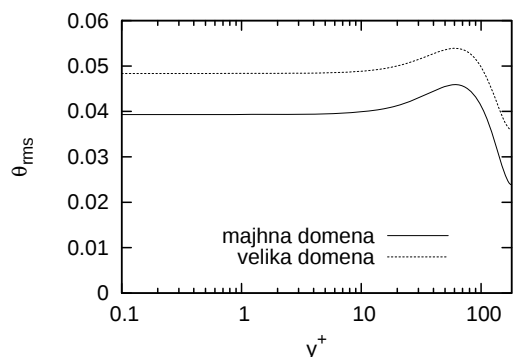


Trenutno polje fluktuacij temperature v sredini kanala

Uporabili smo računsko domeno, ki je nekajkrat daljša in širša od domen, ki se uporabljajo običajno.

Zato smo lahko opisali tudi zelo velike turbulentne strukture, ki so nevidne v hitrostnem, vendar nezanemarljive v temperaturnem polju.

Časovno povprečene temperaturne fluktuacije v "običajni" (majhni) in v veliki računski domeni.
 $y^+=0$ – stena, $y^+=180$ – sredina kanala.



Velike turbulentne strukture je zaradi njihove relativne šibkosti glede na prevladujoče turbulentne strukture težko identificirati. Naše raziskave so pokazale, da je v turbulentnem toku tekoče kovine velike strukture mogoče opazovati preko makroskopskih lastnosti temperaturnega turbulentnega polja z merjenjem temperaturnih fluktuacij.

Priloga 2

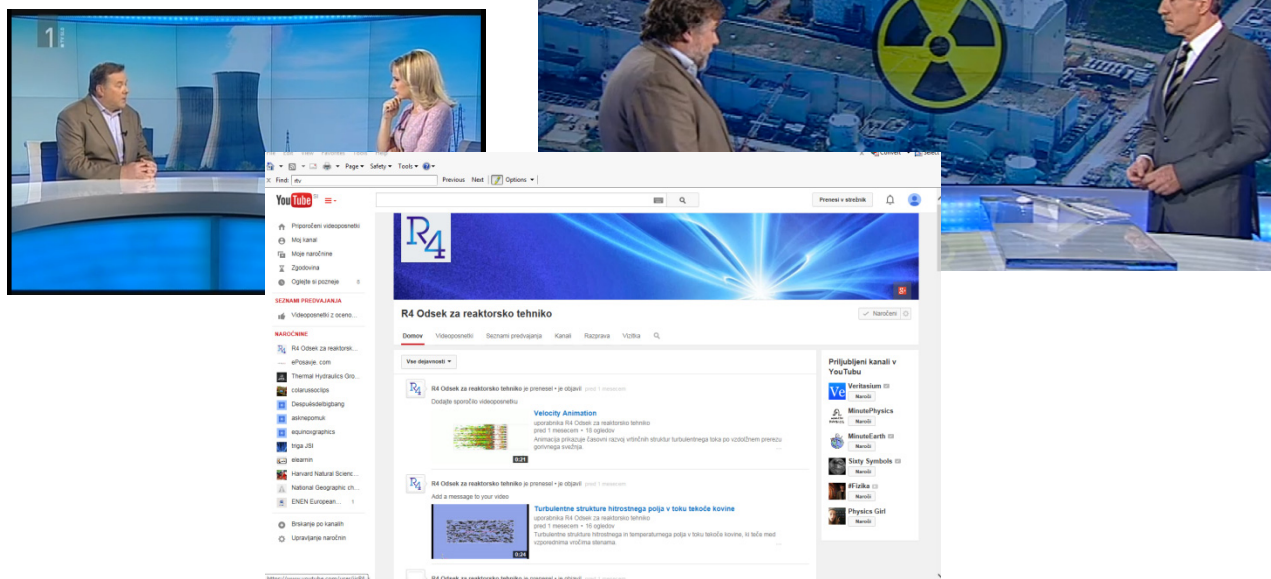
TEHNIKA

2.13 Procesno strojništvo

Dosežek 1:

Obveščanje javnosti o jedrski varnosti in jedrski energiji

Vir: več kot 100 člankov, intervjujev in izjav v medijih, strokovni in poljudnoznanstveni literaturi v obdobju 2011-2014.



Število prispevkov članov programske skupine na temo jedrske varnosti in jedrske energije v medijih ter poljudnoznanstveni literaturi v Sloveniji, ki jih je posredno sprožila nesreča v jedrski elektrarni Fukušima Daiči po velikem vzhodno japonskem potresu v marcu 2011, **je v letu 2014 preseglo število 100**. V prispevkih smo različne vidike uporabe jedrske energije predstavljali na način, ki je razumljiv večini prebivalstva.

Gre za izjemen prispevek k obveščanju splošne in strokovne javnosti o znanstvenih dejstvih in dognanjih, torej tudi k popularizaciji znanosti v splošni in strokovni javnosti. Poleg tega, tovrstni prispevki prispevajo k boljši obveščenosti javnosti o sami jedrski energetiki, ki bo tako lahko bolj objektivno presodila o smiselnosti različnih energijskih virov ter ustrezno vplivala na odločitve, od katerih bo odvisna dolgoročna energetska preskrba Slovenije.

Na portalu <http://www.youtube.com> smo odprli tudi kanal z animiranimi rezultati simulacij programske skupine (<https://www.youtube.com/channel/UC4c8edcmeyeTF0897WV/tlXng>).