

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/4



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-5490
Naslov projekta	Parne eksplozije v z natrijem hlajenih hitrih reaktorjih
Vodja projekta	29182 Mitja Uršič
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	08.2013 - 07.2015
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo 2.13.01 Večfazni sistemi
Družbeno-ekonomski cilj	
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.03 Mehanika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Eno od pomembnejših vprašanj na področju taljenja sredice med hipotetično težko nesrečo v inovativnih z natrijem hlajenih jedrskih elektrarnah je povezano z verjetnostjo nastanka parne eksplozije. Parna eksplozija se lahko razvije, če pride staljena sredica v stik s tekočim natrijem. Dovolj močna parna eksplozija bi lahko imela za posledico porušitev celovitosti jedrske elektrarne in s tem izpust radioaktivnih snovi v okolje.

Namen projekta je bil raziskati potencial močnih parnih eksplozij v z natrijem hlajenih hitrih reaktorjih. Analiza do sedaj opravljenih eksperimentov je namreč pokazali, da so parne eksplozije v natriju mogoče. Analiza eksperimentov je nakazala, da ima temperatura natrija pomemben vpliv na pojav parne eksplozije. Čim nižja je temperatura natrija, manjši sta verjetnost za nastanek eksplozije in energijska učinkovitost same eksplozije. Razloga za opaženo obnašanje bi lahko bila v samih fizikalnih lastnostih natrija, ki močno vplivajo na prenos toplote med talino in hladilom, in v procesu strjevanja taline, ki med samo eksplozijo vpliva na njeno energijsko učinkovitost.

V splošnem je potrebno torej v trenutnih računalniških programih omogočiti dovolj natančno modeliranje lastnosti natrija in strjevanja taline. Zaradi tega je bil naš cilj v prvem delu projekta omogočiti modeliranje interakcije taline z natrijem. V tem delu smo:

- analizirali tabele s termo-dinamskimi lastnostmi natrija;
- predlagali izboljšanje modeliranja prenosa toplote med talino in hladilom. Pri tem smo se predvsem posvetili obravnavi modeliranja prenosa toplote med plastnim uparjanjem, ki je ključno za razvoj parne eksplozije, in modeliranja prenosa toplote v prehodnem režimu, ki odločilno vpliva na strjevanje taline in s tem na energijsko učinkovitost parne eksplozije;
- za modeliranje vpliva strjevanja taline uporabili lastni model;
- predlagane modele in tabele vključili v računalniški program. Vključitev smo preverili.

V drugem delu projekta smo se posvetili oceni potenciala močnih parnih eksplozij ob stiku taline s tekočim natrijem. Pri tem smo:

- z nadgrajenim računalniškim programom simulirali integralne eksperimente;
- analizirali pomen fizikalnih lastnosti natrija in procesa strjevanja na razvoj parne eksplozije;
- rezultate simulacij uporabili za oceno potenciala močnih parnih eksplozij v natriju.

S projektom smo se približali realističnim ocenam ranljivosti z natrijem hlajenih jedrskih reaktorjev v primeru parnih eksplozij.

ANG

One of the important issues in core melt progression during a severe accident in an innovative sodium cooled fast reactor is the likelihood and the consequences of a vapour explosion. A vapour explosion may occur when the hot core melt comes into contact with sodium. A strong enough vapour explosion in a nuclear power plant could jeopardize its integrity and so lead to a release of radioactive material to the environment.

The purpose of the project was to investigate the potential of strong vapour explosions in the sodium cooled fast reactors. Namely, analyses of experiments showed that vapour explosions could occur in sodium. Analyses of these experiments indicated also an important effect of the sodium sub-cooling on the behaviour of the melt-sodium interaction. The vapour explosion probability and efficiency for a higher sub-cooling is lower than for a lower sub-cooling. The physical properties of sodium, which strongly affects the melt-sodium heat transfer, and the melt solidification, which strongly affects the energy efficiency during the explosion, are identified as the reason for the observed behaviour.

In general fuel-coolant interaction computer codes do not model the physical properties of sodium and do not model the melt solidification in enough detail. Therefore, the first objective of the project was to enable the modelling of the melt-sodium interaction with the fuel-coolant interaction codes. So, we have:

- analysed the sodium thermo-dynamic tables;
- modelled adequately the heat transfer between the melt and sodium. The focus was on the heat transfer modelling during the film boiling regime, which is generally agreed to be the initial condition for a vapour explosion, and the transition boiling regime, which strongly affects the melt solidification;
- used our solidification influence modelling approach;
- incorporated the proposed models and tables into the fuel-coolant interaction code and validated them on experimental data.

The second objective of the project was to assess the potential of strong vapour explosions during the melt-sodium interaction. Therefore we have:

- performed analyses of integral fuel-coolant interaction experiments with the improved fuel-coolant interaction code;
- performed a sensitivity study to assess the relevance of sodium physical properties and melt solidification on the vapour explosion phenomenon;
- used the results of the sensitivity study to estimate the potential of strong vapour explosions in sodium.

The project is a step toward an improved assessment of the vapour explosion risk in the sodium cooled fast reactor.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V okviru varnostnih študij z natrijem hlajenih naprednih jedrskih reaktorjev je potrebno ovrednotiti tudi pomen pojava parnih eksplozij na jedrsko varnost. Projekta OECD SERENA-2 (reševanje problematike parnih eksplozij za jedrske aplikacije) in EU SARNET-2 (mreža odličnosti za raziskovanje težkih nesreč v jedrskih elektrarnah) sta nakazala, da so za proučevanje pojava parnih eksplozij najprimernejši kompleksni računalniški programi, ki so prilagojeni za modeliranje pojava interakcije staljene sredice (talina) s hladilom. Ker so se kompleksni računalniški programi do sedaj uporabljali zgolj za simuliranje pojava parne eksplozije ob stiku taline z vodo, smo želeli v prvem delu projekta razviti ustrezno modeliranje interakcije taline z natrijem. V drugem delu projekta smo se posvečali oceni potenciala močnih parnih eksplozij v z natrijem hlajenih hitrih reaktorjih.

Najprej smo opravili pregled stanja modeliranja ključnih procesov za pojav parne eksplozije. Modeli, ki so trenutno vključeni v kompleksne računalniške programe, so bili namreč razviti za proučevanje interakcije taline z vodo. Pri pregledu smo izpostavili, da je potrebno v prihodnosti največjo pozornost posvetiti: modeliranju razpada curka taline v kapljice ob stiku s hladilom, modeliranju strjevanja ne-evtektičnih talin, oksidaciji taline, finemu razpadu kapljic taline in uparjanju med eksplozijsko fazo. Nadaljevali smo z analizo vpliva strjevanja na proces finega razpada kapljic taline med eksplozijsko fazo. Ob upoštevanju negotovosti razpoložljivih eksperimentalnih podatkov in snovnih lastnosti smo ocenili, da pri hidro-dinamskem razpadu ne morejo sodelovati kapljice taline z debelino skorje nad 20% radija.

Nato smo se posvetili naprednemu računalniškemu programu za simulacijo parnih eksplozij MC3D, ki ga razvija IRSN iz Francije in je mednarodno priznan kot referenčni program za modeliranje pojava parne eksplozije. V prvem koraku smo se posvetili ustreznosti vgrajenih termo-dinamskih tabel. Te tabele smo, ob upoštevanju negotovosti, primerjali z ostalimi relevantnimi tabelami. Primerjali smo vse bistvene fizikalne lastnosti. Ugotovili smo, da se tabele med seboj ujemajo v okviru znanih negotovosti meritev in v okviru negotovosti pri modeliranju pojava parne eksplozije. Do večjih razlik med tabelami prihaja predvsem v bližini kritičnih pogojev. Zaradi večjih negotovosti v okolici kritičnih pogojev in dejstva, da so vse tabele veljavne zgolj pri podkritičnih pogojih, smo analizirali, ali v realnih primerih lahko pričakujemo nad-kritične pogoje. Analizo smo opravili s pomočjo primerjave fizikalnih lastnosti vode in natrija ter primerjavo eksperimentov, pri katerih so proučevali interakcijo taline z vodo oziroma natrijem. Pri eksperimentih z vodo so izmerili nad-kritične pogoje. Teh pogojev pri eksperimentih z natrijem niso zaznali. Primerjalna analiza lastnosti natrija in vode je nakazala, da obstaja majhna verjetnost za nad-kritične pogoje pri interakciji taline z natrijem. Ključno vlogo imata izrazitejša toplotna difuzija in izrazitejša odvisnost tlaka uparjanja od temperature natrija. V drugem koraku preverjanja programa MC3D smo se posvetili ustreznosti vgrajenih modelov ključnih procesov za simuliranje interakcije taline z natrijem. Analizirali smo ne-ravnovesni pristop, kjer je uparjanje med eksplozijsko fazo posledica prenosa toplote med razcepki taline in hladilom, ter ravnovesni pristop, kjer je uparjanje posledica hitrega nastanka termičnega ravnovesja med razcepki taline in okoliškim hladilom. Ocenili smo, da je ne-ravnovesni pristop, ki ga uporablja tudi program MC3D, ustrezen za

proučevanje interakcije taline z natrijem. Podrobno smo se posvetili tudi modeliranju prenosa toplote. Primerjalna analiza lastnosti natrija in vode je pokazala, da je za prenos toplote med talino in natrijem ključno območje prehodnega uparjanja, medtem ko je za prenos toplote med talino in vodo ključno območje plastnega uparjanja. Ugotovili smo, da je modeliranje prenosa toplote v območju plastnega uparjanja ustrezno, medtem ko je potrebno modeliranje v območju prehodnega uparjanja izboljšati.

Z analizo vseh vrelnih območij smo predlagali izboljšani pristop k modeliranju prenosa toplote v računalniških programih, ki so namenjeni simuliranju interakcije taline s hladilom. Predlagani pristop je primeren tako za simuliranje interakcije taline z natrijem, kakor tudi za simuliranje interakcije taline z vodo. Posebej smo se v tem delu posvetili določitvi prenosa toplote v prehodnem območju. V območju prehodnega uparjanja je parna plast nestabilna in zato prihaja do kontaktov tekočine in površine taline. S pregledom obstoječe literature in z analizo eksperimentalnih podatkov smo predlagali empirično korelacijo za določitev temperaturnega območja prehodnega uparjanja. Natančnejša analiza je nakazala, da je pri dovolj podhlajenih tekočinah območje prehodnega uparjanja mogoče razdeliti na dva dela in sicer glede na to ali so kontakti možni ali ne. Določili smo tudi pogoj za prehod med obema deloma. Predlagali smo fizikalno osnovano empirično korelacijo za določitev prenosa toplote v delu, kjer kontakti niso mogoči. Empirično korelacijo smo določili na podlagi primerjalne analize teoretičnih in empiričnih korelacij za prenos toplote v območju plastnega uparjanja in konvekcijskem območju. S pomočjo analize eksperimentalnih podatkov smo določili parametre predlagane empirične korelacije in njeno veljavnost. Na koncu smo predlagani pristop k modeliranju prenosa toplote vključili v program MC3D. Veljavnost vključitve smo potrdili s simuliranjem eksperimentov. Preverili smo tudi uporabnost za pogoje, ki jih pričakujemo pri interakciji taline z natrijem.

Sledil je podrobni pregled in analiza integralnih eksperimentov. Pregledali smo rezultate eksperimentov, opravljenih na napravah MFTF (Winfrith, Velika Britanija), BETULLA (JRC Ispra, Italija), THINA (KfK, Nemčija), FARO-TERMOS (JRC Ispra, Italija), FRAG (SNL, ZDA), CORRECT (CEA, Francija) in PBE-SG (SNL, ZDA). Parne eksplozije so opazili le pri eksperimentih, pri katerih je natrij dosegel nasičene pogoje. Analiza je nakazala, da pri teh pogojih poteka prenos toplote v plastnem območju in je zaradi tega strjevanje taline, ki omejuje razvoj parne eksplozije, počasnejše. Jakost parne eksplozije je omejena na nekaj MPa. Ključno vlogo pri omejevanju jakosti ima parni tlak natrija. Pomemben zaključek pregleda je, da je potencial parnih eksplozij večji, kadar prihaja do mešanja taline z natrijem, ki je blizu nasičenih pogojev.

S programom MC3D, v katerega smo vključili predlagani pristop k modeliranju prenosa toplote, smo analizirali eksperimenta, ki sta bila izvedena na napravi FARO-TERMOS ter na napravi THINA. Izbrani eksperiment FARO-TERMOS je največji s področja interakcije taline z natrijem in je tako najbližje realnim razmeram. Ne-eksplozijski eksperimenti THINA so pomembni za vrednotenje mešalne faze. Simulacija eksperimenta TERMOS je nakazala, da so močne parne eksplozije v natriju manj verjetne. Simulacija več eksperimentov THINA je nakazala, da pogoji med eksperimenti niso bili v prid razvoju parne eksplozije. S simulacijami vseh eksperimentov smo kvantitativno uspeli popisati ključne dogodke med mešanjem taline z natrijem. Rezultati simulacij so pokazali, da je potrebno pri novih eksperimentih izboljšati detekcijo prehoda taline v hladilo in natančnejše poznati sestave taline. Rezultati simulacij so tudi potrdili, da je za simuliranje ključna uporaba modelov s fizikalnim ozadjem.

S pomočjo nadgrajenega programa MC3D smo opravili analizo potenciala parnih eksplozij v natriju. Simulacije smo izvedli v geometriji naprave FARO-TERMOS. Analizo smo opravili v dveh korakih. V prvem koraku smo za pričakovane pogoje primerjali potenciala vode in natrija. Simulacija je nakazala nižji potencial parne eksplozije v natriju kakor v vodi. Vzroka sta večja podhlajenost natrija v primerjavi z vodo in predvsem odvisnost tlaka uparjanja od temperature. Predvsem zaradi teh razlogov je uparjanje v vodi izrazitejše kakor v natriju in ohlajenje taline učinkovitejše v natriju kakor v vodi. V drugem koraku smo analizirali vpliv pričakovanih pogojev v natriju. Analiza je pokazala, da se potencial parne eksplozije v natriju povečuje z manjšanjem podhlajenosti natrija,

povečevanjem temperature taline in nižanjem hitrosti prodiranja taline skozi hladilo. Na podlagi rezultatov smo za proučevanje potenciala parnih eksplozij v morebitnih novih eksperimentih predlagali uporabo hladila blizu temperature vrelišča, visoko temperaturo taline in zmerno hitrost taline ob prodiranju v hladilo.

Med projektom smo sodelovali s tujimi parterji. Rezultat je tudi več skupnih objav na mednarodnih konferencah in v znanstvenih revijah po SCI. Organizirali smo srečanje z vodji razvijalcev programa MC3D. Na srečanju smo med drugim analizirali tudi naše aktivnosti na področju proučevanja interakcije taline z natrijem. Razpravljali smo o so-razvoju programa MC3D in o možnih raziskavah na področju parnih eksplozij v natriju tudi po zaključku raziskovalnega projekta. Dodatno smo se udeležili mednarodnega seminarja PLINIUS (platforma za izboljšave v jedrski industriji in varnosti), ki ga je organizirala CEA, Francija. Seminar je bil pomembno povezan z načrtovanimi eksperimenti na platformi PLINIUS-2, ki bodo posvečeni tudi interakciji taline z natrijem. Ocenjujemo, da rezultati raziskovalnega projekta dajejo dobro izhodišče za analizo aktivnosti na platformi. Udeležili smo se prve konference ESNII+, ki jo je organizirala platforma SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform). Konferenca je pomembna, saj nudi dober vpogled nad stanja projektov povezanih z razvojem z natrijem hlajenih reaktorjev v Evropi.

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

Zastavljeni raziskovalni cilji so bili realizirani.

S pregledom stanja modeliranja ključnih procesov za pojav parne eksplozije smo potrdili ustreznost v MC3D vgrajenih fizikalnih modelov in identificirali možnosti za izboljšavo. Rezultati pregleda so bili objavljeni na mednarodni konferenci in v znanstveni reviji po SCI.

Predstavili smo ključne matematično-fizikalne modele, pomembne za vrednotenje vpliva strjevanja, ter podrobno predstavili numerični pristop, ki je prilagojen računalniškimi programom z Eulerjevim opisom taline. Dodatno smo ocenili zgornjo mejo, pri kateri kapljice taline ne morejo sodelovati v procesu parne eksplozije. Rezultati so bili objavljeni v dveh znanstvenih revijah po SCI.

Ugotovili smo, da so v program MC3D vgrajene ustrezne termo-dinamske tabele in ustrezeni model uparjanja med eksplozijsko fazo. Na osnovi analize smo ocenili, da je verjetnost za nad-kritične pogoje pri interakciji taline z natrijem majhna in je torej območje veljavnosti uporabljenih tabel ustrezno. Ugotovili smo, da je potrebno izboljšati modele prenosa toplote v prehodnem območju ter, da je modeliranje prenosa toplote v območju plastnega uparjanja ustrezno. Rezultate analize smo predstavili na mednarodni konferenci.

Za območje prehodnega uparjanja smo predlagali in ovrednotili empirične korelacije. S predlaganimi korelacijami je mogoče določiti obseg območja ter določiti prenos toplote v delu, kjer zaradi dovolj podhlajene tekočine ne prihaja do kontaktov tekočine in taline. Pokazali smo, da predlagane empirične korelacije ustrezno popišejo eksperimente. Rezultate smo objavili na dveh mednarodnih konferencah.

Predlagali smo splošen pristop k modeliranju prenosa toplote ob interakciji taline s hladilom. Pristop smo vgradili v program MC3D in preverili veljavnost vključitve in uporabnost za simulacije interakcije taline z natrijem. Pristop ter rezultate smo predstavili na mednarodni konferenci.

Program MC3D, z vgrajenim predlaganim pristopom k modeliranju prenosa toplote, smo uporabili za simuliranje integralnih eksperimentov. Dosegli smo zadovoljivo ujemanje rezultatov simulacij z eksperimentalnimi rezultati. Rezultati simulacij so osvetlili kateri eksperimentalni podatki so ključni za izvedbo simulacij. Analiza rezultatov simulacij je pokazala možnosti za dodatne izboljšave programa MC3D. Rezultati simulacij in

podrobnih analiz eksperimentov so bili objavljeni na dveh mednarodnih konferencah.

Rezultate pregleda in analize eksperimentalnih podatkov smo uporabili za oceno potenciala parnih eksplozij v natriju. Rezultati simulacij so osvetlili pomen podhlajenosti hladila in odvisnosti tlaka uparjanja od temperature na nižji potencial parnih eksplozij v natriju kakor v vodi. Podrobna analiza pogojev primernih za razvoj parne eksplozije v natriju je nakazala, kateri pogoji so pomembni za potencial parne eksplozije. Rezultate analize smo uporabili kot osnovo za predlog prihodnjih eksperimentov. Podrobnosti so bile predstavljene na mednarodni konferenci.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Ni bilo sprememb programa.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	27889447	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Stanje razumevanja in modeliranja parnih eksplozij
		ANG	Status of steam explosion understanding and modelling
	Opis	SLO	V okviru projekta EU SARNET-2 (mreža odličnosti za raziskovanje težkih nesreč) smo analizirali tudi trenutno stanje in razumevanje računalniškega modeliranja parnih eksplozij. Predstavljeni so bili napredki glede razumevanja, izboljšave modeliranja in seznam odprtih vprašanj.
		ANG	In the frame of the SARNET-2 project the models implemented into the fuel-coolant interaction codes were analysed and compared. A summary of knowledge gained regarding understanding and improvements of modelling was provided, as well as priorities for further research activities.
	Objavljeno v		Pregamon Press; ERMSAR 2013, 6th European Review Meeting on Severe Accident Research, October 2-4, 2013, Avignon, France; Annals of Nuclear Energy; 2014; Vol. 74; str. 125-133; Impact Factor: 0.960; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Meignen Renaud, Leskovar Matjaž, Uršič Mitja
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	27691559	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Hidro-dinamski 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 hidro-dinamskih 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 hidro-dinamskem razpadu ne morejo sodelovati kapljice taline z debelino skorje nad 20% radija.
		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 of 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: 2.383; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.297; A': 1; WoS: DT, IU, PU; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Leskovar Matjaž, Bürger Manfred, Buck Michael	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	28297767	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje vpliva strjevanja na interakcijo taline s hladilom v programih z Eulerianovim pristopom
		ANG	Eulerian modelling of melt solidification impact during fuel-coolant interaction
	Opis	SLO	S stališča jedrske varnosti je pomembno poznavanje jakosti parne eksplozije. Ker na jakost parne eksplozije pomembno vpliva pojav strjevanja kapljic taline, je način modeliranja le tega pomemben za vrednotenje interakcije taline s hladilom. V članku je opisan pristop k modeliranju vpliva strjevanja v računalniških programih z Eulerianovim opisom kapljic taline. Osnova pristopa sta fizikalni model ohlajanja kapljice taline in kriterij razpada delno strjenih kapljic taline. S programom MC3D, v katerega smo vgradili predlagani pristop, smo ocenili tudi vpliv strjevanja na jakost parne eksplozije.
		ANG	Melt droplet solidification is one major phenomenon acting on the mitigation of the strength of vapour explosions in situations related to nuclear safety. The modelling of solidification effects is then an important challenge for the evaluation of fuel-coolant interaction. An attempt for modelling the crust that might develop around melt droplets and its effect on the fine fragmentation within an Eulerian formulation of the flow equations, with application to the MC3D code, is presented. A physically-based modelling of the melt droplets temperature profile and a fragmentation criterion for partly solidified droplets is used in the proposed approach. Also the potential effect of solidification on the vapour explosion strength is shown.
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Annals of Nuclear Energy; 2015; Vol. 78; str. 130-139; Impact Factor: 0.960; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Leskovar Matjaž, Meignen Renaud	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	28547623	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Simuliranje interakcije taline z natrijem s programom MC3D
		ANG	Fuel-sodium interaction modelling with the MC3D code
	Opis	SLO	Sposobnost računalniških programov za modeliranje interakcije taline z vodo je bila vrednotena v okviru projektov OECD SERENA in EU SARNET. Zaradi razlik v lastnostih natrija in vode pa je potrebno sposobnost računalniških programov za modeliranje interakcije taline z natrijem še dokazati. V članku smo se posvetili uporabnosti računalniškega programa MC3D (IRSN, Francija), v katerega smo vgradili izboljšan model prenosa toplote. S programom smo analizirali eksperiment FARO-TERMOS (JRC Ispra, Italija). Analiza je pokazala pomen strjevanja in tlak uparjanja na jakost parne eksplozije. S podrobno analizo smo osvetlili tudi pomen ohlajanja taline in poznavanja pogojev izliva taline.
			The modelling capabilities of fuel-coolant interaction codes to study the vapour explosion phenomenon in light-water reactors were already proven in the frame of the OECD SERENA and EU SARNET programmes. On the other hand, the applicability of the codes for the fuel-sodium interaction

		ANG	must still be assessed because thermo-dynamical properties of sodium are very different from those of water. In the paper, the applicability of the MC3D code (IRSN, France) was examined. The main objectives were to improve the heat transfer modelling and to simulate the mixing of the melt with sodium. For that purpose, the FARO-TERMOS (JRC Ispra, Italy) experiments were analysed and simulated. The analyses of experimental results highlighted the importance of the melt solidification and the sodium vapour pressure curve on the strength of the vapour explosion. The sensitivity study highlighted the effect of the melt droplet quenching and jet inflow modelling on the simulation results.
	Objavljeno v		SFEN = Société Française d'Énergie Nucléaire; Nuclear innovations for low-carbon future; 2015; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Leskovar Matjaž, Meignen Renaud
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
5.	COBISS ID	29175079	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Potencial parnih eksplozij v natriju
		ANG	Potential of vapour explosion in sodium
	Opis	SLO	Eno od pomembnejših vprašanj na področju taljenja sredice med hipotetično težko nesrečo v inovativnih z natrijem hlajenih jedrskih elektrarnah je povezano z verjetnostjo in posledicami nastanka parne eksplozije. V članku smo predstavili primerjalno analizo mešanja taline z natrijem oziroma vodo. Cilj je bil oceniti potencial parne eksplozije v natriju. Z dodatno analizo smo ocenili pomen pogojev izliva, začetne temperature taline in temperature hladila na potencial parne eksplozije. Rezultati nakazujejo, da je potencial parnih eksplozij v natriju nižji kakor v vodi.
		ANG	One of the important safety issues during a severe accident in innovative sodium cooled fast reactors is the likelihood and the consequences of a vapour explosion. In the paper a comparative analysis of the melt-sodium and melt-water mixing is used to analyse the vapour explosion potential for sodium. Additionally, the sensitivity study on the mixing of the melt with sodium is presented and discussed. The relevance of the jet inflow conditions, the melt initial temperature, and the coolant sub-cooling on the premixing conditions are highlighted. The results indicate that the potential of vapour explosion is lower in sodium than in water.
	Objavljeno v		Nuclear Society of Slovenia; Proceedings; 2015; Str. 506.1-506.9; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Leskovar Matjaž
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	270808576	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mednarodna konferenca Jedrska energija za novo Evropo 2013, Bled, Slovenija, 9-12 september 2013
		ANG	International conference Nuclear Energy for New Europe 2013, Bled, Slovenia, 9-12 September 2013
	Opis	SLO	Vodja raziskovalnega projekta je bil predsednik organizacijskega odbora mednarodne konference Jedrska energija za novo Evropo 2013, Bled, Slovenija, 9.-12. september 2013. Na konferenci je sodelovalo 214 udeležencev iz 29 držav. Na konferenci je bilo predstavljenih 144 prispevkov ter 8 vabljenih predavanj. Vodja projekta je tudi sourednik

			konferenčnega zbornika.
		ANG	The leader of the research project was the organizing committee chair of the International conference Nuclear Energy for New Europe 2013, Bled, Slovenia, September 9-12, 2013. The conference was attended by 214 participants from 29 countries. At the conference, 144 papers and 8 invited lectures were presented. The project leader is a co-editor of the conference proceedings.
	Šifra	C.01 Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige	
	Objavljeno v	Nuclear Society of Slovenia; 2013; 1 optični disk (DVD-ROM); Avtorji / Authors: Cizelj Leon, Leskovar Matjaž, Uršič Mitja	
	Tipologija	2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci	
2.	COBISS ID	28275495	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Jedrska termohidravlika - tečaj
		ANG	Course on nuclear thermo-hydraulics
	Opis	SLO	Vodja raziskovalnega projekta je sodeloval kot predavatelj na tečaju Jedrska termohidravlika, GEN energija, Krško 9.6. – 17.6.2014. Vodja projekta je tudi soavtor materialov za tečaj.
		ANG	The leader of the research project was a lecturer on the Nuclear thermo-hydraulics course, GEN energija, Krško 9.6. – 17.6.2014. The project leader is a co-author of the course materials.
	Šifra	F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Objavljeno v	Institut Jožef Stefan; 2014; 1 zv.; Avtorji / Authors: Kljenak Ivo, Končar Boštjan, Tiselj Iztok, Uršič Mitja, Prošek Andrej	
3.	Tipologija	2.05 Drugo učno gradivo	
	COBISS ID	28631335	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Neodvisno strokovno mnenje pooblaščenice organizacije na področju jedrske in sevalne varnosti
		ANG	Expert opinion of technical support organization certified for nuclear and radiation safety: Expert opinion of overhaul, interventions and performed tests during the Krško nuclear power plant 2015 outage
	Opis	SLO	Vodja raziskovalnega projekta je bil vodja projekta za IJS med remontom jedrske elektrarne v Krškem v letu 2015. Rezultat je strokovna ocena, ki je izdelana s stališča jedrske varnosti in je osnovana na spremljanju in analizi aktivnosti med remontom.
		ANG	The leader of the research project was the JSI leader during the NPP Krško 2015 outage. The expert opinion was prepared from the nuclear safety perspective and was based on the monitoring and analyses of several outage activities.
	Šifra	D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov	
	Objavljeno v	2015; Avtorji / Authors: Uršič Mitja, Berar Ovidiu-Adrian, Cizelj Leon, Garrido Oriol Costa, Draksler Martin, El Shawish Samir, Fabjan Ljubo, Henry Romain, Holler Tadej, Kavšek Darko, Kljenak Ivo, Leskovar Matjaž, Matkovič Marko, Mikuž Blaž, Oder Jure, Prošek Andrej, Tiselj Iztok, Tekavčič Matej, Trkov Andrej	
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

V pripravi je SCI članek v sodelovanju s tujim so-avtorjem: Uršič (IJS), Meignen (IRSN), Leskovar (IJS), »Analysis of film and transition boiling heat transfer during fuel-coolant interaction«. V članku bo predstavljena podrobna analiza in pristop k modeliranju prenosa toplote v območju filmskega uparjanja in območju prehodnega uparjanja in sicer v za interakcijo taline s hladilom zanimivih pogojih.

Na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani se izvaja bolonjski študij II. stopnje Jedrske tehnike. Pri izvajanju tega programa kot asistent sodeluje tudi vodja raziskovalnega projekta.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

V okviru projekta smo raziskovali potencial parnih eksplozij v z natrijem hlajenih hitrih reaktorjih. Parne eksplozije namreč predstavljajo eno izmed pomembnejših nerešenih vprašanj na področju taljenja sredice med hipotetično težko nesrečo v inovativnih jedrski elektrarnah četrte generacije. Parna eksplozija se lahko razvije, če pride staljena sredica v stik s tekočim natrijem. Dovolj močna parna eksplozija bi lahko imela za posledico porušitev celovitosti jedrske elektrarne in s tem izpust radioaktivnih snovi v okolje.

Pregled eksperimentov je pokazal, da so parne eksplozije v natriju mogoče. Trenutni računalniški programi, ki se uporabljajo za modeliranje interakcije taline s hladilom, so bili primarno razviti za proučevanje interakcije taline z vodo. Zaradi pomembnih razlik v lastnosti vode in natrija je bilo potrebno dokazati uporabnost programov za primer modeliranja interakcije taline z natrijem. Z analizo stanja računalniških programov smo uspeli potrditi, da je v trenutnih računalniških programih potrebno predvsem izboljšati modeliranje prenosa toplote v območju prehodnega uparjanja. S pomočjo analize eksperimentov smo predlagali model prenosa toplote v prehodnem vrelnem načinu. Razvit model prenosa toplote smo vgradili v napredni računalniški program in ga validirali. S pomočjo predlaganega pristopa smo simulirali in analizirali integralne eksperimente ter vrednotili potencial parnih eksplozij v natriju. Analiza je pokazala, da sta za razvoj in jakost parne eksplozije v natriju pomembna odvisnost tlaka uparjanja od temperature in strjevanje taline. S projektom smo se približali realističnim ocenam ranljivosti z natrijem hlajenih jedrskih reaktorjev v primeru parnih eksplozij.

Rezultati projekta predstavljajo znanstveni prispevek na področju raziskav parnih eksplozij povezanih z jedrsko varnostjo. Rezultati projekta pomembno prispevajo k izboljššanemu razumevanju, modeliranju in interpretaciji rezultatov eksperimentov.

ANG

The purpose of the project was to investigate the potential of strong vapour explosions in sodium cooled fast reactors. Namely, one of the important issues in core melt progression during a hypothetical severe accident in an innovative sodium cooled fast reactor is the likelihood and the consequences of a vapour explosion. A vapour explosion may occur when the hot core melt comes into contact with sodium. A strong enough vapour explosion in a nuclear power plant could jeopardize its integrity and thus lead to radioactive material release to the environment.

Previous performed experiments showed that vapour explosions could occur in sodium. However, the analysis of sodium experiments with the current fuel-coolant interaction codes developed with the focus on water is not directly applicable. Evidently, the applicability of the current fuel-coolant interaction codes for the fuel-sodium interaction must still be assessed because the physical properties of sodium are very different from those of water. The analyses of the modelling approaches in the fuel-coolant interaction codes have shown that especially the modelling of heat transfer in the transition boiling regime must be improved. With the help of the experimental data analyses we have proposed a modelling approach for the transition boiling regime. The developed heat transfer modelling approach was incorporated in the advanced fuel-coolant interaction code and validated. The computer code was used to simulate and analyse integral experiments and to assess the potential of vapour explosions in sodium.

The analyses of experimental results highlighted the importance of the melt solidification and the sodium vapour pressure curve on the strength of the vapour explosion. The results of the project present a step towards an improved risk assessment of vapour explosions in sodium cooled fast reactors.

The results of the project present a scientific contribution in the field of vapour explosion research related to nuclear safety. The results importantly contribute to improved understanding, modelling and interpretation of integral experiments.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati projekta izboljšujejo naše razumevanje pojava parnih eksplozij. Raziskave torej prispevajo tudi k ustvarjanju, ohranjanju in krepitvi lastnega strokovnega znanja ter omogočajo neodvisnost od tujine pri izdelavi ekspertiz v podporo varnemu obratovanju jedrske elektrarne Krško in pri pomoči upravnemu organu pri nadzoru vzdrževanja in obratovanja jedrske elektrarne Krško. Vse to prispeva k povečanju konkurenčnosti Slovenije.

V okviru projekta smo tesno sodelovali tudi s tujimi raziskovalci, kar dolgoročno povečuje možnosti za vključitev v nove mednarodne projekte, ki so povezani z razvojem reaktorjev četrte generacije.

ANG

The results of the project improve our understanding of the vapour explosions phenomenon. Therefore the research contributes to creating, keeping and improving of our own technical knowledge and enhances the independence on foreign expertise in support of safe Krško nuclear power plant operation and helps the regulatory body in the inspection of Krško nuclear power plant operation and maintenance. All this contributes to the increase of the competitive position of Slovenia.

A tight cooperation with foreign researchers within the project improves the possibilities for the participation in international projects related to the innovative reactors.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☐	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☐	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.		
	2.		
	3.		

		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

13. Izjemni dosežek v letu 2015¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Za prenos toplote med talino in podhlajenim natrijem je ključno območje prehodnega uparjanja. Za napredni računalniški program smo predlagali pristop k modeliranju prenosa toplote in opravili prve simulacije, ki omogočajo oceno potenciala parnih eksplozij v natriju. Rezultati simulacije so nakazali, da je potencial parne eksplozije v natriju manjši kakor v vodi. Ključna razloga za to sta razlika v temperaturni odvisnosti tlaka uparjanja in podhlajenost natrija. Kakor je razvidno iz slike v diapozitivu je pri tipičnih pogojih za interakcijo taline s hladilom uparjanje v vodi bistveno učinkovitejše kakor v natriju. Pričakovati je mogoče, da bodo tlačne obremenitve v natriju omejene na nekaj MPa, medtem ko v vodi lahko dosega več 10 MPa.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

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 ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Mitja Uršič

ŽIG

Datum:

18.3.2016

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/4

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v

predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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 projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

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

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2015 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). 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-RPROJ-ZP/2016 v1.00

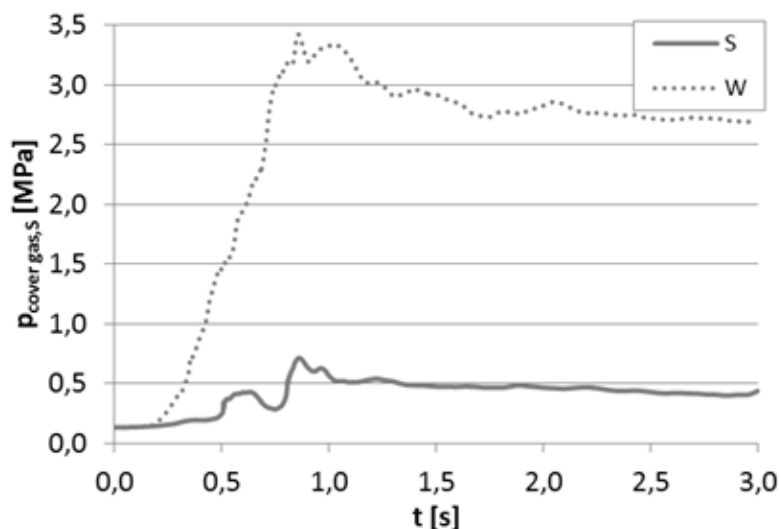
E5-74-BB-84-D9-23-88-48-1D-93-7C-E2-FA-4C-4A-16-2F-A9-A5-7A

Priloga 1

VEDA

Področje: 2.13 Procesno strojništvo

Dosežek 1: Uporaba razvitega pristopa k modeliranju prenosa toplote je omogočila oceno potenciala parnih eksplozij v natriju, Vir: Uršič, M., Leskovar, M., 2015. Potential of vapour explosion in sodium, Proceedings of the 24th International Conference Nuclear Energy for New Europe. NSS, Portorož, Slovenia.



Za prenos toplote med talino in podhlajenim natrijem je ključno območje prehodnega uparjanja. Za napredni računalniški program smo predlagali pristop k modeliranju prenosa toplote in opravili prve simulacije, ki omogočajo oceno potenciala parnih eksplozij v natriju. Rezultati simulacije so nakazali, da je potencial parne eksplozije v natriju manjši kakor v vodi. Ključna razloga za to sta razlika v temperaturni odvisnosti tlaka uparjanja in podhlajenost natrija. Kakor je razvidno iz slike je pri tipičnih pogojih za interakcijo taline s hladilom uparjanje v vodi (W) bistveno učinkovitejše kakor v natriju (S). Pričakovati je mogoče, da bodo tlačne obremenitve v natriju omejene na nekaj MPa, medtem ko v vodi lahko dosežajo več 10 MPa.