

ZAKLJUČNO POROČILO
O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA
NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA
PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

2. Šifra projekta:

V2-0377

3. Naslov projekta:

Uporaba referenčnih testnih primerov pri upravljanju z jedrskimi napravami

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Uporaba referenčnih testnih primerov pri upravljanju z jedrskimi napravami

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

On the Use of Benchmark Experiments for Improved Utilisation of Nuclear Installations

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

Raziskovalni reaktorji, referenčni testni primeri, računske metode, nevtronska aktivacijska analiza, nevtronski spektri

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

Research reactors, benchmark experiments, computational methods, neutron activation analysis, neutron spectra

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

Institut "Jožef Stefan"

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

6. Sofinancer/sofinancerji:

Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost

7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

8557

Andrej Trkov

Datum: 15.10.2008

Podpis vodje projekta:

Andrej Trkov
doc. dr. Andrej Trkov



Institut
"Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija

Podpis in žig izvajalca:

Jadran Lenarčič
prof. dr. Jadran Lenarčič, direktor

II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

- a) v celoti
- b) delno
- c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- a) da
- b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:

2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

- Izdelan je bil računski model za program MCNP, ki opisuje vse geometrijske značilnosti reaktorja TRIGA na IJS, vključno z obsevalnimi kanali.
- Izvedena in analizirana je bila serija meritev aktivacije Al-0.1%Au folij v obsevalnih mestih v reaktorju za preveritev računov krajevne porazdelitve fluksa nevtronov.
- Izvedene in analizirane so bile meritve za preveritev izračunov spektra nevtronov v dveh kanalih reaktorja TRIGA.
- S podrobnim računskim modelom reaktorja TRIGA za program MCNP so bile narejene računske simulacije meritev krajevne porazdelitve nevtronskega fluksa in spektra na 33 lokacijah obsevalnih kanalov v sredici in okolici. Izvedeni so bili izračuni občutljivosti na parametre kot so gostota moderatorja, temperatura, kopičenje pomembnih dolgoživih cepitvenih produktov in zgorevanje cepljivega materiala.
- Računski rezultati so bili primerjani z meritvami aktivnosti obsevanih monitorjev (zlato in aluminij) na izbranih 33 lokacijah v sredici reaktorja in v reflektorju. Primerjava služi za verifikacijo računskega modela. O rezultatih smo poročali na mednarodni konferenci v Marrakech-u od 14. do 16. marca 2007.
- Opravljene so bile meritve z več monitorji na štirih lokacija (tri v sredici in ena v reflektorju). Na osnovi teh meritev in rezultatov izračunov smo podrobno določili parametre nevtronskega fluksa v izbranih obsevalnih kanalih. O rezultatih smo poročali na koordinacijskem sestanku »Reference Database for Neutron Activation Analysis«, ki je potekala od 7. do 9. maja 2007 na Mednarodni agenciji za atomsko energijo (IAEA).
- Naročen, dobavljen in instaliran je bil števec za merjenje gama-spektrov, ki je izboljšal natančnost in zanesljivost meritev spektrov, iz katerih določamo stopnjo aktivacije monitorjev po obsevanju.
- Izpopolnili smo metodologijo karakterizacije spektra v obsevalnih napravah na osnovi tako računskih modelov kakor aktivacijskih meritev s serijo monitorjev, prirejene za analitsko metodo z aktivacijsko analizo. Takšen postopek predstavlja določeno novost, izkazal pa se je kot zelo primeren in zanesljiv. Z minimalnimi popravki parametrov glavnih fizikalnih značilnosti nevtronskega spektra smo uspeli zagotoviti dobro ujemanje izmerjenih aktivnosti z izračunanimi na osnovi diferencialnih presekov in spektra nevtronov, dobljenega po prej omenjenem postopku. Postopek smo preverili z analizo aktivnosti obsevanih monitorjev v NIRR1 reaktorju v Nigeriji; v tem reaktorju se spekter znatno razlikuje od spektra v reaktorju TRIGA. Delo je potekalo v okviru projekta z Mednarodno agencijo za atomsko energijo IAEA.
- O rezultatih meritev na reaktorju TRIGA smo poročali na mednarodni konferenci "NENE-2007" v Portorožu, septembra 2007.

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

- Dokončali smo kalibracijski postopek opreme za meritve gama spektrov. S stališča natančnosti oprema deluje v skladu s pričakovanji in bo omogočila znatno izboljšanje kvalitete meritev gama spektrov v laboratoriju.
- Nadaljevali smo z uvajanjem programskega paketa k0-IAEA za aktivacijske analize s k0 metodo. Program je v fazi razvoja, zato se pojavljajo "otroške bolezni", ki jih odpravljamo ob pomoči avtorja programa in v sodelovanju Odseka za kemijo okolja na IJS. Delo poteka v sklopu sodelovanja z Mednarodno agencijo za atomsko energijo (IAEA).
- Iz laboratorija IRMM v Belgiji smo dobili vzorce rodija. Načrtujemo izvedbo meritev, s katerimi bomo preverili preseke za reakcijo zajetja v tem materialu. Delo poteka v sklopu sodelovanja z IAEA.
- Izdelali smo program MATSSF za izračun faktorjev samoščitenja v epitermičnem področju na osnovi izračunov s programom NJOZ. Primerjali smo jih z empiričnim algoritmom iz literature (Chilian et al, NIM A 564, 2006, p.p. 629-635). Faktorje samoščitenja bomo primerjali z direktnimi Monte Carlo izračuni vendar to delo presega predvideni obseg del v sklopu tega projekta.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvom, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjevanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.

3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

- Eksperimentalno verificiran računski model reaktorja TRIGA, ki služi kot analitsko orodje za študij lastnosti parametrov sredice in obsevalnih kanalov.
- Izboljšana karakterizacija nevtronskih spektrov v obsevalnih kanalih reaktorja TRIGA.

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

Opravljen raziskovalno delo je osnova za za izboljšanje analitskih metod, ki uporabljajo reaktor kot izvor nevtronov. Izboljšave so posledica dobre karakterizacije nevtronskega spektra in izboljšav podatkovne baze, ki jo tako-okarakterizirane obsevalne naprave omogočajo.

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- a) v domačih znanstvenih krogih;
- b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- c) pri domačih uporabnikih;
- d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Francoski partnerji iz CEA se zanimajo za metodo karakterizacije nevtronskega spektra. Odobren je projekt v okviru bilateralnega sodelovanja med CEA in MVZT.

3.7. Število diplomantov, magistrstov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

Projekt je prekratek, da bi lahko pripeljal do zaključka študija: nadaljevanje projekta na razpisu v letu 2008 ni bilo odobreno.
Na projektu so sodelovali trije mladi raziskovalci, ki so v različnih fazah študija.

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:

4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi inštitucijami.

- Delo se je tesno navezovalo na "Coordinated Research Project on the Reference Database for Neutron Activation Analysis" v okviru Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA).
- Delo bi bilo relevantno za soroden projekt verifikacije dozimetrijskih podatkov za fuzijske aplikacije v sklopu "Co-ordinated research project on Fusion Evaluated Nuclear

Data Library FENDL-3.0" na IAEA, ki se je pravkar začel, vendar bo slovenski prispevek omejen, ker ni ustreznega financiranja s slovenske strani. Nadaljevanje projekta na razpisu v letu 2008 je bilo zavrnjeno. Izpad sredstev bo delno kompenziran preko projekta bilateralnega sodelovanja s CEA.

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

Rezultati raziskave direktno prispevajo k rezultatom IAEA projekta, z izmenjavo informacij pa imamo možnost neodvisne preveritve razvitih postopkov. Neposredna korist za nas je pridobitev rezultatov drugih udeležencev na projektu.

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani: <http://www.izum.si/>

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije. Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitev projekta in njegovih rezultatov vključno s predstavitvami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.

PRILOGA: POVZETEK

Uporaba referenčnih testnih primerov pri upravljanju z jedrskimi napravami

Povzetek

V okviru projekta smo razvili oziroma posodobili računska orodja za modeliranje reaktorskih sistemov preko definicije referenčnega testnega primera reaktorja TRIGA, ter priprave ustreznega računskega modela vključno z obsevalnimi napravami. Izvedli smo več setov meritev z aktivacijskimi monitorji. Z enim setom meritev aktivnosti obsevanih monitorjev zlata na 33 lokacijah v reaktorju in reflektorju smo preverili pravilnost računskega modela. Dodatne meritve v izbranih obsevalnih kanalih so služile za karakterizacijo nevtronskega spektra, ki smo jo izvedli z novo metodo, pri kateri smo uporabili z računskim modelom dobljen spekter, kakor tudi rezultate aktivacijskih meritev z različnimi detektorji. V sklopu meritev smo preverili ustreznost jedrskih konstant za ^{186}W , ki je aktivacijski dozimetrijski monitor. Raziskava se je navezovala na projekt pri Mednarodni aganciji za atomsko energijo (IAEA). Rezultate smo objavili v več prispevkih na konferencah, uporabili pa jih bomo tudi v članku v strokovni reviji, ki je v pripravi.

On the Use of Benchmark Experiments for Improved Utilisation of Nuclear Installations

Summary

Computational model of the TRIGA reactor was expanded to include the irradiation facilities. A benchmark test case was defined, which involved several sets of activation measurements. In the first set the activation rates in 33 locations in the core and the reflector were measured and compared to calculations to validate the computational model. Subsequent activation experiments in selected irradiation channels served for neutron spectrum characterisation using a new method, which makes use of the calculated spectrum, as well as the measured activities of different activation monitors. The technique allowed us to check the nuclear constants for ^{186}W , which is an activation dosimetry monitor. The work was related to a Co-ordinated Research Project of the International Atomic Energy Agency on the subject of Neutron Activation Analysis. The results of the work were reported in several conference proceedings. Some of the materials resulting from the work will be used in a publication in a journal, which is in preparation.