

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/61



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-4000
Naslov projekta	Izračuni za podporo kalibracije nevtronskih detektorjev - primer uporabe na fuzijskem reaktorju JET
Vodja projekta	27819 Luka Snoj
Tip projekta	Z Podoktorski projekt
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.03 Energetika 2.03.02 Goriva in tehnologija za konverzijo energije
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.03 Mehanika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Skupni evropski torus (JET – Joint European Torus), trenutno največjo ter najzmogljivejšo napravo za raziskave zlivanja jeder (fuzije) z magnetnim zadrževanjem plazme na svetu so v letih 2009-2010 prenovili in jo v letu 2011 ponovno zagnali. Največja sprememba je bila zamenjava prejšnje ogljične obloge s takšno, kakršna bo v ITRU, to je narejeno iz grafitu, volframa in berilija. Zamenjava obloge bo najbolj vplivala na meritve produkcije nevtronov, ki so najpomembnejši indikatorji proizvedene moči reaktorja.

Po prenovi smo nevtronske detektorje kalibrirali s kalifornijevim (^{252}Cf) nevtronskim izvorom, ki ga je daljinsko voden robot premikal znotraj vakuumske posode. Meritev je omogočila neposredno potrditev kalibracije časovno odvisnih nevtronskih detektorjev, to so fisiske celice locirane zunaj vakuumske posode, ter prvo kalibracijo aktivacijskih nevtronskih detektorjev to so razni materiali, ki se ob obsevanju z nevtroni aktivirajo in so locirani na robu reaktorske posode.

Da bi povečali zanesljivost in natančnost kalibracije nevtronskih detektorjev na JET-u, je bilo potrebno opraviti vrsto izračunov. Zaradi izjemno kompleksne geometrije fuzijske naprave in asimetrične zgradbe, je najboljša in skoraj edina možnost uporaba najsodobnejših Monte Carlo metod za transport nevtronov. Ker so detektorji precej manjši od tokamaka je potrebno uporabiti metode redukcije variance za pospešitev izračunov in zmanjšanja računskih statističnih napak. Vrsta in način uporabe metode redukcije variance je močno odvisna od obravnavanega problema. Zato je izjemnega pomena, da izračunane rezultate primerjamo z referenčnimi meritvami.

Namen projekta je bil razvoj računskega modela tokamaka JET, izbira in uporaba ustreznih računskih metod redukcije variance, verifikacija le-teh preko primerjave z meritvami ter uporaba izračunov za podporo kalibracije. Računsko smo izboljšali kalibracije tako, da smo ovrednotili vse napake, negotovosti in odstopanja. To je omogočilo popravke meritev, kar je izboljšalo zanesljivost meritev produkcije nevtronov na JET-u. Rezultati bodo uporabni tudi za ostale tokamake in podobne naprave. Še več, znanje in izkušnje pridobljene v tem projektu bomo lahko uporabili za izračun transporta nevtronov v klasičnih cepitvenih reaktorjih.

ANG

Joint European torus (JET), presently the world's largest magnetic confinement nuclear fusion research facility, has gone under major refurbishment since 2009 and started operating in 2011. The major change was replacement of previously reactor Carbon wall by the ITER-like wall (ILW) made of Beryllium, Tungsten and Carbon. This most significantly affects the neutron yield measurements which are the basis for the determination of the absolute fusion reaction rate and the operational monitoring with respect to the neutron budget during any campaign.

After refurbishment, the neutron yield calibration was ensured by direct measurements using a calibrated ^{252}Cf neutron source deployed inside the JET vacuum-vessel. This measurement allow direct confirmation of the time-dependent neutron yield detector calibration and provide the first direct calibration of the JET activation system. Time-dependent neutron diagnostics system KN1 consist of sets of fission chambers mounted on three JET transformer limbs, which provide the time-dependent neutron yield used to assess a JET pulse. The activation system pneumatically delivers capsules to positions just at the edge of the vacuum-vessel inside JET, where they are irradiated during the pulse, pneumatically retrieved, and the induced activity is counted to provide a time-independent absolute fusion yield measurement.

In order to significantly improve the accuracy of the calibration, a whole suite of calculations is required to support the JET neutron calibration project. Due to complex geometry of the fusion device and asymmetrical structure, the only reasonable method to be used for neutron transport calculation is the Monte Carlo method. As the detectors are very small compared to the tokamak one should use various Monte Carlo variance reduction techniques to speed up the calculations and reduce the statistical uncertainty of the calculated result. The type of method and the way the method is used, strongly depend on the type of problems under investigation, hence it is essential to verify the calculated results by comparison with benchmark experiments.

The scope of the project is to develop computational model of the JET tokamak, to choose and apply appropriate Monte Carlo variance reduction calculational methods, verify them by comparing the experimental values and use the calculations to support the calibration. Calculations will support the calibration process by evaluating all possible sources of errors, uncertainties and biases. This then allows application of appropriate correction to the measurements, which significantly improve the accuracy of the neutron yield measurements at JET. The results are useful also for other tokamak reactors. Moreover the knowledge and experience gained in the project is applicable also for neutron transport calculations in fission reactors.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V sklopu projekta smo skupaj z raziskovalci z JET-a in CCFE-ja (JET-Joint European Torus, CCFE – Culham Centre for fusion energy) delali na projektu izračunov za podporo kalibraciji nevtronskih detektorjev na JET-u. Delo je večinoma potekalo po načrtu. Večina dosedanjih rezultatov je opisanih v že objavljenih člankih (glej: Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine).

Glavni namen projekta je bil razvoj in nadgradnja računskih modelov tokamaka JET, ki smo jih nato uporabili za izvedbo izračunov v podporo eksperimentalni kalibraciji nevtronskih detektorjev. Izračune smo uporabili tako za načrtovanje kalibracije kot tudi za analizo izmerjenih rezultatov, analizo negotovosti ter ovrednotenje popravkov. V sklopu tega dela smo poglobili naše razumevanje transporta in detekcije nevtronov v tokamaku.

Testirali smo več metod redukcije variance. Delo je potekalo v tesnem sodelovanju s kolegi z JET-a in CCFE. Tekom projekta sem večkrat osebno bil na JET-u, da sem pregledal eksperimentalne naprave in njihove načrte, po katerih sem naredil računske modele, da sem se pogovoril s številno ekipo in dobil globlji pogled v projekt kalibracije, ki mi je omogočil pravilnejše in učinkovitejše izračune. Sicer je samo računsko modeliranje potekalo večinoma na odseku za reaktorsko fiziko na Institutu Jožef Stefan (IJS), izračuni pa so se izvajali na tukajšnji računski gruči.

Najpomembnejše rezultate lahko strnemo v sledeče ugotovitve:

- Nosilec nevtronskega izvora smo na podlagi naših izračunov optimizirali do te mere, da kar najmanj vpliva na meritev
- Glede fisijskih celic zunaj reaktorja so glavne ugotovitve sledeče:
 - Večina nevtronov (> 90 %) pride skozi odprtine v vakuumski posodi
 - Glavni doprinos k posameznemu detektorju je najprej skozi najbližjo odprtino in nato skozi odprtino, ki je najbližje točkastemu izvoru
 - 20-5 % nevtronov se odbije od stene reaktorske hale
 - Masivni objekti pri odprtinah lahko:
 - Blokirajo nevtrone, če so blizu odprtine
 - Povečajo odziv detektorja zaradi povečanega sipanja nevtronov, če so bolj stran od odprtine.
- Analize kažejo, da ima sistem za daljinsko rokovanje znaten vpliv na posamezne detektorje (od +10 % do -60 %, integralen vpliv pa je majhen, in znaša do 5 %. Na podlagi izračunov smo gibanje sistema optimizirali in tako zmanjšali korekcijske faktorje
- Spekter nevtronov bo znatno vplival na odziv fisijskih celic, predvsem zaradi različnega različne penetracije nevtronov skozi steno reaktorja. Očitno so najbolj prodorni 14 MeV nevtroni in najmanj 2 MeV.
- Spekter nevtronov bo bolj vplival na odziv detektorjev kot oblika samega izvora nevtronov
- odziv zunanjih detektorjev nevtronov (fisijski celice) bo na določenih položajih nevtronskega izvora zelo moten zaradi orodij za daljinsko upravljanje. integralni odziv (, ki je sorazmeren odzivu na plezemeski izvor nevtronov) pa bo relativno majhen, in bo reda 1-5 % odvisno od položaja detektorja.
- med meritvijo, bo v reaktorski hali prisoten tudi ščit na za nevtronski izvor v primeru, da gre kaj narobe, med obratovanjem pa bo približno na tistem položaju masivni merilnik profila emisije nevtronov iz plazme. Ugotovili smo, da če ščit nevtronskega izvora pomaknemo ven iz tokamaka je njegov vpliv na meritev najmanjši, v nobenem primeru pa njegov vpliv ne more biti podoben vplivu merilnik profila emisije nevtronov iz plazme med obratovanjem
- negotovost v gostoti oziroma masi sistema za daljinsko rokovanje ne vpliva bistveno na negotovost korekcijskega faktorja in je pod 1 %
- v našem modelu smo zaradi hitrejšega računanja povečali velikost detektorjev in poenostavili obliko vrat (portov) oz. izhodov iz tokamaka. Ugotovili smo da je vpliv teh poenostavitev na integralni korekcijski faktor zanemarljiv, manj kot 1 %
- prav tako smo ugotovili, da je vpliv plošč, ki pokrivajo te odprtine na integralni korekcijski faktor neznamen, to je manj kot 1 %

- izračunali smo tudi časovni odziv zunanjih nevtronskih detektorjev in ugotovili, da 90 % nevtronov pride v detektor v roku 10 mikro sekund po rojstvu. Slednje je pomembno zaradi določanje frekvence merjenja.

Preko primerjave izračunanega in izmerjenega odziva aktivacijskega detektorja smo ugotovili, da je bila prejšnja kalibracija premajhna za 15 %, z drugimi besedami po tej kalibraciji po pridelek nevtronov za DD plazmo za 15 % višji kot do sedaj. Slednje pomeni, da bodo morali ustrezno popraviti tudi pretekle meritve.

Ko smo razvijali in nadgrajevali računski model JET-a smo ugotovili, da znamo notranjost tokamaka relativno dobro modelirati. Ujemanje med izračunanim in izmerjenim odzivom aktivacijskih detektorjev znotraj tokamaka je namreč znotraj negotovosti. Zunanost tokamaka pa je praktično nemogoče natančno modelirati zaradi obilice razno raznih komponent, cevi in kablov, o katerih ni podrobnih informacij glede njihovih natančnih dimenzij in materialske sestave. Zato smo modelirali le največje in najmasivnejše dele opreme ostalo pa aproksimirali. Sicer pa je ujemanje v obliki izračunanega in izmerjenega odziva detektorja (odziv detektorja v odvisnosti od položaja izvora) odlično, slabše je le ujemanje v absolutnih vrednostih, kar je posledica zgoraj omenjenih omejitve pri natančnosti modeliranja.

Kar se tiče razvoja in uporabe metod redukcije variance so ugotovitve sledeče:

- za zunanje nevtronske detektorje (fizijske celice) lahko uporabimo t.i. point detektorje oz. metodo točkovnih detektorjev za izračun njihovega odziva
- teoretične bi lahko uporabili tudi druge metode redukcije variance (npr. določanje pomembnosti celic, ruska ruleta, utežena okna, prisiljeno sipanje), a zaradi njihovih specifičnosti in specifičnosti našega problema je njihova uporabnost žal močno omejena, če ne nemogoča. Vzroki so sledeči:
 - zgoraj omenjene metode se dokaj lahko uporabljajo, če imamo en sam detektor, katerega odziv nas zanima in če se geometrija ne spreminja.
 - V primeru kalibracije nevtronskih detektorjev na JET-u pa se v naših izračunih geometrija nenehno spreminja (sistem za daljinsko rokovanje, masivne strukture znotraj hale in okoli torusa, sprememba materialske sestave) pa še zanima nas odziv več detektorjev naenkrat, in sicer, da zadevo lažje razumemo ter ker imamo dejansko več detektorjev

Skratka zaključimo lahko, da je uporaba metod redukcije variance na konkretnem primeru z izjemo točkovnih detektorjev, praktično nemogoča. Ko pa se bo obstoječi model, ki je sedaj verificiran z eksperimenti uporabljal za izračune odziva posameznih detektorjev, npr. aktivacijski detektor ali fizijska celica, pa bomo lahko na ta stalen model aplicirali metode redukcije variance in njihovo veljavnost potrdili preko primerjave z eksperimenti.

Praktično vsi rezultati raziskave so se uporabili pri načrtovanju kalibracije, so uporabni za razumevanje kalibracije in so se uporabili za analizo rezultatov kalibracije nevtronskih detektorjev na JET-u. Še več rezultatov so bodo uporabili tudi pri kalibraciji nevtronskih detektorjev v tokamakih ITER in DEMO

Tekom celega projekta smo tesno sodelovali s partnerji Centra za fuzijsko energijo v Culhamu. Skupaj z njimi smo pregledovali rezultate, jih uporabili pri načrtovanju samega eksperimenta kalibracije nevtronskih detektorjev ter se seveda skupaj odločali o izračunih, ki bi jih bilo potrebno narediti in o stvareh, ki bi jih bilo potrebno raziskati. Vzpostavili smo tudi sodelovanje s kolegi z Univerze v Upsali, ki sicer nudijo računsko podporo pri ostalih eksperimentih na JET-u, konkretno z Seanom Conroy- in Göranom Ericssonom, vodjo švedske fuzijske asociacije.

Ob koncu projekta, julija 2012, sem dva meseca preživel na tokamaku JET, kjer sem obdeloval rezultate meritve ter naredil še zadnje izračune negotovosti. Stroške potovanja je plačala EFDA.

Med samim projektom smo objavili precej člankov, tako bolj specifičnih na temo izračunov za podporo kalibraciji kot tudi nekaj splošnih, preglednih. Glavni članek, kjer bodo predstavljeni vsi rezultati bo objavljen predvidoma v letu 2014. Zaradi velikega vpliva, ki ga bodo imele naše

ugotovitve, je namreč potrebno vse rezultate skrbno preveriti ter jih predstaviti na pravi način.

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

Realizacija zastavljenega dela večinoma poteka po planu. Po planu potekajo vsi izračuni za podporo kalibraciji. Žal se je zaradi nepredvidenih okoliščin premaknil datum dejanske kalibracije, in sicer na marec 2013. Slednje pomeni le, da bodo kasneje znani eksperimentalni rezultati, s katerimi bomo preverili naše izračune. Vse ostalo delo poteka po načrtu.

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

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 ni bilo.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	26263847	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izračuni za podporo kalibraciji pridelka nevtronov na JET-u: sipanje nevtronov v nosilcu izvora
		ANG	Calculations to support JET neutron yield calibration: Neutron scattering in source holder
	Opis	SLO	V članku smo analizirali vpliv nosilca nevtronskega izvora na kotno porazdelitev gostote nevtronskega fluksa ter na nevtronski spekter in posledično odziv detektorjev. Nosilec izvora smo načrtovali tako, da je njegov vpliv na spekter nevtronov, kotno porazdelitev fluksa ter odziv aktivacijskih detektorjev minimalen, to je manjši od 1 %. Največjo motnjo v spektru in kotnem fluksu predstavlja samo ohišje izvora, ki je iz relativno debelega nerjavnega jekla. Slednje pomeni, da je potrebno dobiti čim več informacij o dejanski sestavi in geometriji samega nevtronskega izvora.
		ANG	After the coated CFC wall to ITER-Like Wall (Beryllium/Tungsten/Carbon) transition in 201011, confirmation of the neutron yield calibration will be ensured by direct measurements using a calibrated 252Cf neutron source deployed by the in-vessel remote handling boom and Mascot manipulator inside the JET vacuum vessel. The paper describes preliminary calculations and the results of numerical study of the effect of source holder on neutron detector response. The source baton was designed in such a way, that it does not significantly affect the neutron spectrum, angular neutron flux distribution or activation detector response. All effects are approximately equal to or less than 1%. The largest disturbance to the neutron flux angular distribution and to the neutron spectrum arises from the source capsule. Hence one should obtain as much information as possible about the capsule and the 252Cf source material in order to avoid additional systematic errors.
	Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2012; Iss. 11, Vol. 87; str. 1846-1852; Impact Factor: 0.842; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.844; WoS: RY; Avtorji / Authors: Snoj Luka, Trkov Andrej, Lengar Igor, Popovichev Sergei, Conroy S., Syme B.	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	26907943	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izračuni za podporo kalibraciji meritev pridelka nevtronov na JET-u: vpliv

		sistema za daljinsko rokovanje
	ANG	Calculations to support JET neutron yield calibration: Modelling of the JET remote handling system
Opis	SLO	V članku smo analizirali vpliv nosilca nevtronskega izvora na kotno porazdelitev gostote nevtronskega fluksa ter na nevtronski spekter in posledično odziv detektorjev. Nosilec izvora smo načrtovali tako, da je njegov vpliv na spekter nevtronov, kotno porazdelitev fluksa ter odziv aktivacijskih detektorjev minimalen, to je manjši od 1 %. Največjo motnjo v spektru in kotnem fluksu predstavlja samo ohišje izvora, ki je iz relativno debelega nerjavnega jekla. Slednje pomeni, da je potrebno dobiti čim več informacij o dejanski sestavi in geometriji samega nevtronskega izvora.
	ANG	After the coated CFC wall to ITER-Like Wall (Beryllium/Tungsten/Carbon) transition in 2010/2011, confirmation of the neutron yield calibration will be ensured by direct measurements using a calibrated ²⁵² Cf neutron source deployed by the in-vessel remote handling boom and Mascot manipulator inside the JET vacuum vessel. Neutronic calculations are required to calculate the effects of the JET remote handling (RH) system on the neutron monitors. We developed a simplified geometrical computational model of the JET remote handling system in MCNP. In parallel we developed a script that translates the RH movement data to transformations of individual geometrical parts of the RH model in MCNP. After that a benchmarking of the model was performed to verify and validate the accordance of the target positions of source and RH system with the ones from our model. In the last phase we placed the JET RH system in the simplified MCNP model of the JET tokamak and studied its effect on neutron monitor response for some example source positions and boom configurations. As the correction factors due to presence of the JET RH system can potentially be significant in cases when the boom is blocking a port close to the detector under investigation, we have chosen boom configurations so that this is avoided in the vast majority of the source locations. Examples are given.
Objavljeno v		North-Holland; Nuclear Engineering and Design; 2013; Vol. 261; str. 244-250; Impact Factor: 0.805; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.844; WoS: RY; Avtorji / Authors: Snoj Luka, Lengar Igor, Čufar Aljaž, Syme B., Trkov Andrej
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	25476391 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Izračuni za podporo kalibraciji meritev pridelka nevtronov na JET-u: Prispevki k zunanjim detektorjem nevtronov
	ANG	Calculations to support JET neutron yield calibration : Contributions to the external neutron monitor responses
Opis	SLO	V članku smo raziskali odziv zunanjih detektorjev na tokamaku JET, in sicer smo raziskali, poti nevtronov od izvora do detektorja, pomembnost struktur tokamaka ter odziv detektorja glede na pozicijo nevtronskega izvora. Glavne ugotovitve so sledeče: največ nevtronov pride kozi vrata najbližje detektorju, drugi največji prispevek pa je skozi vrata/odpritno, ki je najbližje izvoru nevtronov. Precejšen del nevtronov se odbije od same reaktorske hale.
		Neutron yield measurements are the basis for the determination of theFrom the modelling we find that a minority of the neutrons hitting the fission chamberspenetrate the tokamak wall, whilst most come via the ports. The highest contribution to a fission chamber response comes via the port nearest to a point neutron source and the second highest contribution comes via the next nearest ports. If the port is blocked by a massive object, the fission chamber response is decreased by up to the contribution

		<p>of that port. It was observed that the torus hall wall significantly affects the response of each external fission chamber due to back scattering of neutrons. absolute fusion reaction rate and the operational monitoring with respect to the neutron budget during any campaign for JET, the Joint European Torus. The whole process of understanding and improving the knowledge of the neutron yield calibration for JET is of great interest for ITER, where the methods and procedures for calibrating the neutron yield monitors are still being developed, but the requirement is for 10% accuracy in the fusion yield determination, as it is in JET. After the 2010 changes of the JET plasma-facing materials (Carbon wall to ITER-Like Wall transition), confirmation of the neutron yield calibration will be ensured by direct measurements using a calibrated ^{252}Cf neutron source deployed inside the JET vacuum vessel. In order to thoroughly understand the transport of neutrons from the vacuum vessel to the fission chamber detectors mounted outside the vessel on the transformer limbs and thus to computationally support the JET neutron calibrations project, we developed a simple but quick-running computational model of the JET tokamak for performing Monte Carlo neutron transport calculations.</p>
	Objavljeno v	Elevier; Selected and expanded papers from International Conference Nuclear Energy for new Europe 2010, Portorož, September 6-9, 2010; Nuclear Engineering and Design; 2012; Impact Factor: 0.805; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.844; WoS: RY; Avtorji / Authors: Snoj Luka, Syme B., Popovichev Sergei, Lengar Igor, Conroy S., Trkov Andrej
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25476647 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Meritve fuzijske moči na JET-u in njihova kalibracija</p> <p>ANG Fusion yield measurements on JET and their calibration</p>
	Opis	<p>SLO V tem članku je pregled kalibracije moči fuzijskih naprav v preteklosti in danes. Predvsem se pa članek osredotoča na kalibracijo nevtronski detektorjev na JET-u in z njo povezane aktivnosti</p> <p>ANG The power output of fusion experiments and fusion reactor-like devices is a new, more detailed, calibration is being provided by means of an engineering programme of development of the robotic tools which will allow safe and accurate deployment of a strong ^{252}Cf source for the measurements. It is led by a scientific programme which seeks to better understand the limitations of the calibration, to optimise the measurements and other provisions, to provide corrections for perturbing factors and to ensure personnel safety and safe working conditions. Much of this work is based on an extensive programme of Monte-Carlo calculations. These include the updating of previous JET models to provide continuity of comparison with previous understanding, the provision of fast models for side effect estimation and the development of a new more detailed JET model which will allow comparisons with the older more homogeneous model while coping with the demands of the new calibration. measured in terms of the neutron emission rates which relate directly to the fusion yield rate. Determination of such parameters requires a set of absolutely calibrated neutron detectors. At JET, the Fission Chamber neutron detectors were originally calibrated some 20 years ago by performing a set of in-situ calibrations using neutron sources and the absolute calibration has been maintained since then by cross calibrations against Activation System measurements. After this elapsed time and a succession of changes to the internal and external JET structures, the JET neutron yield calibration needs re-measurement. The purpose of this paper is to give an overview of the arrangements being developed to allow a new calibration to be made.</p>
		Elevier; Selected and expanded papers from International Conference

	Objavljeno v	Nuclear Energy for New Europe 2010, Fortovoz, September 0-9, 2010, Nuclear Engineering and Design; 2012; Vol. 246; str. 185-190; Impact Factor: 0.805; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.844; WoS: RY; Avtorji / Authors: Syme D.B., Popovichev Sergei, Conroy S., Lengar Igor, Snoj Luka, Trkov Andrej	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	27277351	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nevtronska kalibracija JET-a v letu 2013
		ANG	JET neutron calibration 2013
	Opis	SLO	<p>Moč fuzijskih reaktorjev se mrei preko pridelka nevtronov, ki je sorazmeren številu zlitij. V članku opišemo metode za izvedbo in-situ kalibracije v aprilu leta 2013 na JET-u in anlizo rezultatov. Ciljna natančnost kalibracije je bila 10 % kot je zahteva v ITRU, kej je natančno merjenje fuzijskih nevtronov pomembno, na primer s stališča inventarja tritija.</p> <p>Kalibriral ismo tva glavna sistema to je zunanje fisiske celice ter aktivacijski sistem, k ije bil kalibriran prvič. Za premikanje izvora znotraj tokamaka smo uporabili sistem za daljinsko rokovanje.</p> <p>Cilj raziskovalnega programa je bil napovedati in razumeti glavne omejitve kalibracije, optimizacija meritev, izračun popravkov (npr. zaradi sistema za daljinsko rokovanje, neznačilne okoliščine v tokamaku,..) ter zagotovitev varnosti. Večian dela je bila podprta z obsežnimi nevtronskimi izračuni z metodo Monte Carlo.</p> <p>Prva anliza rezultatov je končana in v članku predstavimo rezultate in napake. Analiza podatkov iz fisiskih celic je še v teku.</p>
		ANG	<p>The power output of fusion experiments and fusion reactor-like devices is measured in terms of the neutron yields which relate directly to the fusion yield. In this paper we describe the methods used to make the in-situ calibration of JET in April 2013 and the analysis of its early results. The target accuracy of this calibration was 10%, just as in the earlier JET calibration and as required for ITER, where a precise neutron yield measurement is important, e.g. for tritium accountancy.</p> <p>We calibrated the two main systems which carry the JET calibration, ie the external Fission Chamber detectors and the Activation System. This was the first direct calibration of the Activation system in JET. We used the existing JET remote-handling system to deploy the 252Cf neutron source and developed the compatible tooling and systems necessary to ensure safe and efficient deployment in these cases.</p> <p>The scientific programme has sought to better predict and understand the limitations of the calibration, to optimise the measurements and other provisions, to provide corrections for perturbing factors (e.g. presence of the remote-handling boom and other non-standard torus conditions) and to ensure personnel safety and safe working conditions. Much of this work has been based on an extensive programme of Monte-Carlo calculations and examples are given.</p> <p>First analysis of the activation results is complete and we review the results and errors. The analysis of the fission chamber data is still under way and we will discuss the findings so far.</p>
	Objavljeno v	Universiteit Gent; Proceedings; 2013; Avtorji / Authors: Syme D.B., Popovichev Sergei, Conroy S., Lengar Igor, Snoj Luka, Sowden Benjamin Choyce, Giacomelli L., Hermon G., Plummer D., Stephens J., Batistoni P., Prokopowitz R., Jednorog S., Abhangi R., Makwana R.	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

--	--

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	2583140	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Analiza odziva detektorjev nevtronov v tokamaku
		<i>ANG</i>	Analysis of neutron detectro response in tokamak
	Opis	<i>SLO</i>	Število nevtronov, ki se sprostito pri zlivanju jeder, je linearno sorazmerno sproščeni energiji, zato se moč fuzijskih reaktorjev običajno meri z detektorji nevtronov, ki morajo biti absolutno kalibrirani. Zadnja kalibracija detektorjev nevtronov fuzijskega reaktorja JET je bila izvedena aprila 2013 s pomočjo sistema za daljinsko rokovanje, ki je majhen 252Cf izvor nevtronov premikal po vnaprej določenih položajih znotraj reaktorja. V diplomskem delu je predstavljen del izračunov, ki so bili opravljeni za podporo meritev za kalibracijo detektorjev nevtronov tokamaka JET. Tako smo ugotovili, da večina nevtronov do detektorjev pride skozi odprtine v vakuumski posodi, ki so namenjene lažjemu dostopu v reaktor za vzdrževanje in lažjemu izvajanju meritev. Zaradi tega imajo največji vpliv na odziv detektorjev objekti, ki kakorkoli blokirajo nevtrone, ki bi sicer prišli skozi katero od odprtin. Izračunali smo tudi korekcijske faktorje, ki kvantificirajo vpliv sistema za daljinsko rokovanje na odziv detektorjev ter analizirali negotovosti do katerih pride zaradi poenostavitve modela in materialne sestave. Ugotovili smo, da je vpliv sistema za daljinsko rokovanje na določenih položajih zelo velik, do 30 %, integralni vpliv pa je majhen, do reda velikosti 5 %. Predstavljeni rezultati so pomembni tudi za ITER, kjer bodo detektorje kalibrirali na podoben način.
		<i>ANG</i>	The number of neutrons released during the nuclear fusion is linearly proportional to the released energy. Because of that absolutely calibrated neutron detectors are used for power measurements in fusion reactors. The most recent measurements for direct calibration of JET neutron detectors were performed in April 2013 with a remote handling system that was used to carry and position a small 252Cf spontaneous fission source onto predetermined positions inside the tokamak. An important part of this thesis are the calculations that were performed to support the calibration of JET neutron detectors. Calculations have shown that most of the neutrons contributing to the fission chamber response come via ports that penetrate the vacuum vessel. Therefore any substantial object blocking the port significantly affects the detector response. We calculated correction factors that quantify the effect of the remote handling system on the neutron detector responses and analysed the uncertainties caused by the simplifications of the model and its material composition. Calculations show that the effect of the remote handling system on some positions is up to 30 % but the integral effect is only up to 5 %. Presented results are also important for ITER where detectors will be calibrated using similar methods.
	Šifra	D.10	Pedagoško delo
	Objavljeno v	[A. Čufar]; 2013; 46 f.; Avtorji / Authors: Čufar Aljaž	
	Tipologija	2.11	Diplomsko delo
2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i>	Član projektne odbora za projekt za naslovom "JET Technological Exploitation of DT Operation Work Package (WPJET3)" v okviru H2020
		<i>ANG</i>	member of the Project Board of the JET Technological Exploitation of DT Operation Work Package (WPJET3)
	Opis	<i>SLO</i>	Projektni odbor je posvetovalno telo, ki deluje v podporo projektu Odbor skrbi ,da projekt poteka v skladu s planom in v skladu s specifikacijami, cilji in načrti Odbor dobi in pregleda poročilo vodje projekta

		<p>1. The PB is a supervisory body, acting in support of the project.</p> <p>2. The Board ensures that the project is progressing according to the agreed specifications, milestones and planning.</p> <p>3. The Project Board receives the report of the Project Leader.</p>
	Šifra	D.03 Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v	ni javne objave
	Tipologija	2.14 Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)
3.	COBISS ID	27416359 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Fuzija</p> <p>ANG Fusion</p>
	Opis	<p>SLO Predstavitev raziskav na področju fuzije v oddaji dobra ura z Boštjanom na Tv slovenija, http://4d.rtvlo.si/arhiv/ugriznimo-znanost/17425063</p> <p>ANG Presenting nuclear fusion on national television http://4d.rtvlo.si/arhiv/ugriznimo-znanost/17425063</p>
	Šifra	D.11 Drugo
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Novak Saša, Snoj Luka
	Tipologija	3.11 Radijski ali TV dogodek
4.	COBISS ID	26753575 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Jedrska fuzija</p> <p>ANG nuclear fusion</p>
	Opis	<p>SLO SNOJ, Luka (intervjuvanec). Jedrska fuzija : Intervju : Radio Slovenija 3, oddaja Glasovi svetov. 9. Maj 2013, http://ava.rtvlo.si/predvajaj/glasovi-svetov/ava2.165787638/</p> <p>ANG Interview on nuclear fusion at national radio. available at: http://ava.rtvlo.si/predvajaj/glasovi-svetov/ava2.165787638/</p>
	Šifra	D.11 Drugo
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Snoj Luka
	Tipologija	3.11 Radijski ali TV dogodek
5.	COBISS ID	26908199 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Dr. Luka Snoj</p> <p>ANG Dr. Luka Snoj</p>
	Opis	<p>SLO SNOJ, Luka (intervjuvanec). Dr. Luka Snoj. Dnevnik, ISSN 1318-0320, 2013, 22. julij. [COBISS.SI-ID 26908199] Predstavitev mene kot raziskovalca na področju fuzije v Dnevniku. http://www.dnevnik.si/ljudje/-dr-luka-snoj-</p> <p>ANG Presentation of myself as a reseracer in teh field of fusion in nationa newspaper dnevnik. http://www.dnevnik.si/ljudje/-dr-luka-snoj-</p>
	Šifra	D.11 Drugo
	Objavljeno v	Dnevnik; Dnevnik; 2013; 22. julij; Avtorji / Authors: Snoj Luka
	Tipologija	1.22 Intervju

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Spoznanja do katerih smo prišli tekom projekta so izjemnega pomena pri načrtovanju nevtronske kalibracije na fuzijskem reaktorju ITER. Dva sodelavca s CCFE, ki kot svetovalca sodelujeta pri projektu ITER sta jim že sporočila naša opažanja in prve rezultate, ki so bili zelo pozitivno sprejeti.

Zaradi sodelovanja na tem projektu smo v letu 2012 začeli sodelovanju tudi pri evropskih (EFDA) aktivnostih za projekt prve demonstracijske fuzijske elektrarne, DEMO ter ITER. V sklopu priprav na projekt DEMO se bodo na tokamaku JET, testirali detektorji fuzijske moči ter nevtronski detektorji za meritev položaja plazme za DEMO. Ti detektorji bodo morali čim bolj enostavni in zanesljivi.

Zaradi referenc in sodelovanje pri kalibraciji obstoječih detektorjev na tokamaku JET smo v letu 2013 dobili manjši evropski (EFDA) projekt z naslovom identifikacija potencialnih detektorjev za meritve vertikalnega položaja in profila plazme za DEMO. Z izračuni smo testirali, kako se različni nevtronski detektorji odzivajo na položaj in profil plazme ter izbrali nekaj najbolj občutljivejših. Lete bodo potem eksperimentalno testirali na tokamaku JET.

Na podlagi znanj pridobljenih v tem projektu smo v konzorciju Eurofusion kandidirali na razpisu v okviru programa Horizon 2020 in pridobili projekt z naslovom Izračun za podporo DT kalibraciji tokamaka JET, ki se vsebinsko močno naslanja na ta projekt. Vrednost evropskega projekta je 306.000 EUR v leti 2014 - 2018. Ta projekt se je že pričel izvajati in sam sem zaradi izkušenj pridobljenih v sklopu podoktorskega projekta postal član projektne odbora za projekt za naslovom "JET Technological Exploitation of DT Operation Work Package (WPJET3)" v okviru H2020. Projektni odbor je posvetovalno telo, ki deluje v podporo projektu. Odbor skrbi, da projekt poteka v skladu s planom in v skladu s specifikacijami, cilji in načrti. Odbor dobi in pregleda poročilo vodje projekta

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Nadaljnje obratovanje tokamaka JET bo med drugim odvisno tudi od dobrih meritev pridelka nevtronov, ki mora biti v obratovalnih mejah. Vsi znanstveni projekti zahtevajo smiselne rezultate meritev nevtronskega pridelka za karakterizacijo posameznih pulzov. Verifikacija nevtronskih meritev je pomembna tudi za bodoče obratovanje v D-D in D-T načinu. Uporaba in razvoj eksperimentalnih in računskih metod, ki smo jih razvili, se bo kasneje razširila tudi na bodoče delovanje v D-T načinu ter bo pomembno prispevala k načrtovanim aktivnostim tokamaka JET. Konkretno bodo izkušnje, znanje in metode pridobljen v sklopu tega projekta, direktno uporabljene pri projektu kalibracije nevtronskih detektorjev za DT nevtrone z energijo 14.1 MeV. Ta projekt se je že pričel in naša raziskovalna skupina je vanj vpletena v sklopu mednarodnega projekta znotraj H2020

Celoten proces razumevanja in poglobljanja znanja o meritvah nevtronskega pridelka je pomemben tudi za bodoči fuzijski reaktor ITER, kjer bo potrebno metode za kalibracijo nevtronskih detektorjev še določiti. Natančno poznavanje fuzijske moči reaktorja, ki se jo izmeri lahko le preko meritev nevtronov, je izjemno pomembno za razvoj fuzije kot trajnostnega in okolju prijaznega vira energije.

Evalvirani rezultati eksperimenta bodo služili kot referenčni eksperiment za verifikacijo in validacijo računskih metod in jedrskih podatkov v fuzijskih tokamakih ter ostalih podobnih sistemih, kot so klasični cepitveni reaktorji, ki imajo podobne materiale in praktično enake detektorje.

ANG

Continuing JET operations depend upon good neutron yield measurements to stay within set operational limits and all the scientific Task Forces require sound fusion yield data to begin the characterisation of any JET pulse. In view of the planning for future tritium operations, it is especially important that the fusion yield measurements are well verified, starting with the current plans for D-T relevant calibrations. The deployment, measurement and calculational methods developed now will be extended to cover ITER's D-T operations in the foreseen future and will certainly contribute to the foreseen ITER-related activities. In fact, knowledge, experience and methods developed during the project will be directly used in the recently started 14. MeV neutron calibration project, which will be even more complex. The project runs within H2020

The whole process of understanding & improving the knowledge of the neutron yield calibration for JET is of great interest for ITER, where the methods and procedures for calibrating the neutron yield monitors have yet to be finally defined. Knowing the fusion reactor power with great accuracy (which can be done only by neutron measurements, since they remove the bulk

of the energy from the burning plasma) is of great importance for development of fusion as sustainable and environmentally friendly energy source.

The evaluated experimental results will serve as the benchmark experiment for verification and validation of computational methods and nuclear data in fusion tokamaks and other similar systems, such as fission nuclear reactors, which feature similar materials and practically the same detectors. We will use the benchmark model for verification and validation of various variance reduction techniques used in Monte Carlo calculations and for validation of nuclear data libraries.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Pridobljeno znanje in izkušnje bomo lahko neposredno uporabili v slovenski jedrski elektrarni v Krškem. Rezultati naših raziskav bodo uporabni za:

- izračun odzivne funkcije nevtronskih detektorjev v klasičnih cepitvenih reaktorjih, kar je pomembno za natančno in zanesljivo obratovanje reaktorja ter za meritve fizikalnih parametrov reaktorja
- izboljšanje natančnosti in zanesljivosti izračunov obsevanosti reaktorske posode, ki je ključnega pomena za določanje življenjske dobe jedrske elektrarne in morebitno podaljšanje njenega obratovanja
- izboljšanje natančnosti izračunov aktivacije materialov izven reaktorske posode, kar je pomembno za natančno določanje količine in vrste radioaktivnih odpadkov ob razgradnji reaktorja

V energetskih reaktorjih so nevtronske kalibracije z dobro definiranimi izvori (npr. ^{252}Cf) praktično nemogoče zaradi praktičnih in finančnih omejitev. Raziskovalni reaktorji so premajhni in premalo kompleksni ter zato niso reprezentativni za takšne meritve. Zato so znanje in izkušnje pridobljene na eksperimentalnih fuzijskih reaktorjih neprecenljive ter pomembne tudi za klasične cepitvene reaktorje.

Slovenija je s sodelovanjem v Skupnem evropskem torusu (JET-u), največji raziskovalni fuzijski napravi na svetu, dobila dostop do najnovejših znanj na področju fuzijske tehnologije in bo še bolj aktivno vpletena v evropske raziskovalne projekte. Ljudje, ki smo delali na projektu, smo sodelovali z največjimi strokovnjaki na področju fizike, eksperimentalnih tehnik in z njimi povezanih izračunov za detekcijo nevtronov in gama žarkov ter na ta način obogatili svoje znanje. Pridobljeno znanje bo posredovano naprej ostalim slovenskim znanstvenikom, strokovnjakom in študentom na področju detekcije nevtronov in transportnih izračunov. Slednje je še posebej pomembno za ohranjanje in izboljšanje znanja na področju nevtronskih in sevalnih znanosti v Sloveniji.

Imeti priložnost za sodelovanje pri tako velikem projektu je veliko priznanje za slovensko znanost in velika promocija Slovenije. Slednje bo še posebej vidno v bližnji prihodnosti, ko bo JET dosegel in presegel fuzijski ojačitveni faktor $Q=1$, ki je pomemben mejnik pri razvoju fuzije kot trajnostnega in okolju prijaznega vira energije v prihodnosti. Predlagani projekt je pomemben korak na tej poti.

Sodelovanje pri tako velikem in pomembnem projektu nam je odprlo vrata za sodelovanje v drugi evropskih projektih. In sicer smo na podlagi znanj in izkušenj pridobljenih v tem projektu v konzorciju Eurofusion kandidirali na razpisu v okviru programa Horizon 2020 in pridobili projekt z naslovom Izračun za podporo DT kalibraciji tokamaka JET, ki se vsebinsko močno naslanja na ta projekt. Vrednost evropskega projekta je 306.000 EUR v leti 2014 - 2018.

V sklopu sodelovanja z mednarodnimi institucijami, ki raziskujejo zlivanje jeder smo navezali stike tudi s podjetjem National Instruments in ITER, za katera smo na raziskovalnem reaktorju TRIGA na IJS opravljali testiranje odpornosti elektronike na termične nevtrone. Pri vzpostavitvi povezav je sodelovalo tudi slovensko podjetje Cosylab, ki bo za ITER izdelalo krmilni sistem.

ANG

From neutronic point of view, fusion reactors (e.g. JET or ITER) have many common features with classic fission nuclear reactors: similar materials - low activation alloys, same detector types - fission chambers, size of detectors compared to reactor size), etc.. Hence the results of

our investigation can be applied also to:

- calculation of response function of neutron detectors in classical fission nuclear reactors (very important for accurate and reliable reactor operation and measurements of reactor physics parameters)
- accurate calculations of irradiation of reactor vessel (of key importance for determination of nuclear power plant (NPP) lifetime or prolongation of NPP lifetime)
- accurate calculations of activation of materials outside the reactor vessel (important for determination of amount and type of radioactive waste at reactor dismantling)

In nuclear power reactors the whole process of neutron calibration measurements and calculations with well-defined sources are practically impossible due to practical and economical limitations. Research reactors are too small and not complex enough to be representative for such measurements. Hence the experience and knowledge gained in experimental fusion reactors are priceless and very important also for classical fission reactors.

By collaboration in the Joint European Torus, the world's largest nuclear fusion research facility, Slovenia will gain access to the state of the art knowledge on fusion technology and will be more actively involved in the European research projects. People involved in the project will benefit from immersion in a group of experts working in the fields of physics, experimental techniques and associated calculations for fusion neutron and gamma ray detection. The gained knowledge will be then passed on to the Slovenian scientists, professionals and students in the field of neutron detection and neutron transport calculations. The latter is especially important for conservation and improvement of knowledge on neutron and radiation science in Slovenia.

Having an opportunity of collaborating in such important project is a big recognition to Slovenian science and a big promotion for Slovenia. The latter will be especially noticeable in the near future, when JET will reach fusion energy gain factor $Q=1$, which is an important milestone in the development of fusion as sustainable and environmentally friendly energy source. This proposed project is one of the important steps towards it.

Collaboration within such an important project opened opportunities for collaboration in other European projects. Based on knowledge and experience gained in this project we were successful in obtaining a 5 year project (2014 – 2018) project on calculations to support JET DT calibration. The project will be performed within Eurofusion consortium within the H2020.

**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	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					

G.02.01.	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

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 2013¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

Uspešna izvedba eksperimentalne kalibracije nevtronskih detektorjev na tokamaku JET in eksperimentalno in računsko podprta ugotovitev, da je moč oz. pridelek nevtronov na tokamaku JET za 15 % višji kot je bilo znano do sedaj.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Tekom projekta sem imel več medijsko zelo odmevnih pojavljanj v javnosti, kjer sem raziskave na področju fuzije razlagal na poljuden način in s tem prispeval k popularizaciji znanosti in širjenju znanstvenih vrednost. Pojavljanja so opisana na cobissu.

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"

Luka Snoj

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	11.4.2014
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/61

- 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 / prepisite 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 2013 (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 priložitev/-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/2014 v1.03
2C-37-93-F9-43-E8-31-03-95-A7-FA-EE-2A-EC-2C-1F-CB-D1-AD-00

Priloga 1

VEDA

Področje: 2.03.02 Goriva in tehnologija za konverzijo energije

Dosežek 1: _____, Vir:



Uspešna izvedba eksperimentalne kalibracije nevtronskih detektorjev na tokamaku JET in eksperimentalno in računsko podprta ugotovitev, da je moč oz. pridelek nevtronov na tokamaku JET za 15 % višji kot je bilo znano do sedaj.

Slika prikazuje mednarodno ekipo, ki je pri tem sodelovala. Slovenska predstavnika sta Igor Lengar (zadnja vrsta desno) in Luka Snoj (zadnja vrsta 3. z desne). V prvi vrsti drugi z desne je Brian Syme, vodja projekta na angleški strani, ki v rokah drži nosilec nevtronskega izvora, ki se je uporabljal za premikanje izvora s pomočjo robota znotraj tokamaka.