

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/9



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

## 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	J2-5467
<b>Naslov projekta</b>	Nevtronski izračuni v podporo nevtronski diagnostiki - aplikacija na fuzijski reaktor JET
<b>Vodja projekta</b>	19167 Igor Lengar
<b>Tip projekta</b>	J Temeljni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	6408
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	08.2013 - 07.2015
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.03 Energetika 2.03.02 Goriva in tehnologija za konverzijo energije
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Joint European torus – JET je trenutno največji fuzijski reaktor na osnovi magnetnega zadrževanja plazme. Glavnina projekta je bila posvečena preračunom v podporo nevtronski diagnostiki in eni izmed najpomembnejših dejavnosti na tem področju na JET od njegovega zagona, to je bila kalibracija nevtronskih detektorskih sistemov z močnim nevtronskim

izvorom. Ta eksperiment, ki je bil opravljen ob navzočnosti članov projektne skupine v letu 2013, nam je dal izjemno priložnost za primerjavo eksperimentalnih podatkov z računi.

Za uspešno računsko podporo smo nadgradili računske modele za preračune s programom na osnovi metode Monte Carlo in evalvirali ustrezne knjižnice jedrskih podatkov. Uporabili smo tudi nujne metode za redukcijo variance ter testirali novo metodo s programom ADVANTG, ki je dala najboljše rezultate. Analizirali smo rezultate kalibracije nevtronskih detektorjev z izotopskim nevtronskim izvorom Cf-252, ki je bil tekom kalibracije s pomočjo sistema za daljinsko rokovanje postavljen na več kot 250 lokacij v torusu. Opravili smo primerjavo med eksperimentalnimi in računskimi rezultati. Analize so trajale dve leti in za vse izračune smo porabili več kot 50 CPU let procesorskega časa na računski gruči IJS.

Posledica naše natančne obdelave podatkov je bila tudi identifikacija napake v absolutni lokaciji nevtronskega izvora tekom kalibracije, kot je bila posredovana s strani izvajalcev eksperimenta; ta je znašala tudi več kot 10 cm. Po analizi podatkov smo napako odpravili kar je omogočilo izvedenost kalibracije.

Primerjali smo računske rezultate z eksperimentalnimi in potrdili ustreznost metod ter dovolj dobro ujemanje, da smo lahko zaključili, da je bila celotna negotovost kalibracije manjša od zahtevane vrednosti 10%. Sodelavci projektne skupine smo imeli pomemben delež pri kalibraciji, kateri je bilo namenjenih kar 14 dni obratovanja JET torusa.

Analizirali smo spremembe odziva detektorjev zaradi sprememb v konfiguraciji torusa s časom in ugotovili, da je bil kalibracijski faktor za aktivacijski sistem KN2-3U v notranjosti torusa, po nadgradnji torusa v letu 1996 izračunan z večjo napako – okoli 16% – kar je bila posledica takratnih omejenih računskih zmoglosti. Z današnjimi tehnikami je bilo to napako možno odpraviti in jo bo potrebno upoštevati pri evalvaciji nekaterih preteklih eksperimentov. Določili smo vpliv komponent v zunanosti torusa na fisijske celice KN1, tudi locirane v njegovi zunanosti, in ugotovili znaten vpliv na odziv, ki doseže tudi faktor 4.

Vse dejavnosti smo izvajali v tesnem sodelovanju s sodelavci z JET, s katerimi so objavili tudi več člankov. Vzporedno z obstoječim projektom so potekale spremljevalne aktivnosti na reaktorju JET, ter ga dopolnjevale, o čemer smo člani projektne skupine poročali na polletnih sestankih sodelavcem z JET torusa.

ANG

Joint European Torus - JET is currently the largest fusion reactor based on magnetic confinement. The focus of the project was dedicated to the support for neutron diagnostics and to one of the most important activities in this area at JET since its start-up – to the calibration of neutron detector systems with a strong neutron source. This experiment, which was carried out in the presence of members of this project in 2013, gave us an unique opportunity to compare experimental data with measurements.

We upgraded the computational models based on the Monte Carlo methods and evaluated the relevant nuclear data libraries. We also used the necessary methods for variance reduction and tested a new method with the program ADVANTGE, which gave the best results. We analyzed the results of the calibration, which was made with the an isotopic neutron source Cf-252, positioned during the calibration to more than 250 locations in the torus by using the remote handling system. We carried out a comparison between experimental and computational results. The analyses lasted for two years and for all calculations we used more than 50 years of CPU time on the JSI computer cluster.

Due to our precise data processing an error in the absolute location of the neutron source during calibration, as was submitted by the operators of the experiment, was identified – this amounted to more than 10 cm. After re-analyzing the data we eliminated the mistake, which allowed us the evaluation of the calibration of the neutron detectors.

We compared the numerical results with experiments and confirmed the adequacy of the

methods in order to conclude that the overall uncertainty of calibration was less than the required 10%. The collaborators of the project team, had a notable share on the calibration, which used 14 days of operational time of the JET torus.

We analyzed the changes in detector response due to changes in the configuration of the torus with time and found that the calibration factor for the activation system KN2-3U, located in the interior of the torus, was for the time after the upgraded of the torus in 1996, calculated with a high error – about 16% – as a result of the then limited computing capabilities. With today's techniques it was possible to eliminate the mistake, which may result in the re-evaluation of some past experiments. We determined the effect of the components, located on the outside of the torus on the fission cells KN1, also located in its exterior, and found a significant impact on the response that reaches a factor of four.

All activities were carried out in close collaboration with colleagues at JET, with whom we also published several articles. In parallel with the existing project, accompanying activities took place at JET, and supplemented it. Members of the project group reported on the activities during semi-annual meetings to our colleagues at the JET torus.

### 3.Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

V okviru projekta smo zasledovali celovito analizo nevtronske diagnostike za primer fuzijskega reaktorja Joint European torus – JET, trenutno največjega fuzijskega reaktorja. Sodelavci na raziskovalnem projektu smo bili že predhodno vpeti v delo za JET, po letu 2013 smo svojo udeležbo še okrepili. Glavnina projekta je bila posvečena preračunom v podporo nevtronski diagnostiki ter deloma aktivaciji torusa JET in izvedli smo več dejavnosti, ki vključujejo izboljšanje računskih modelov, uporabo tehnik redukcije variance, določitev negotovosti in napak, primerjavo različnih knjižnic jedrskih podatkov.

Z izvedbo našega projekta je sovpadla tudi ena izmed najpomembnejših dejavnosti na področju nevtronske diagnostike na JET od njegovega zagona, to je bila ponovna kalibracija nevtronskih detektorskih sistemov - aktivacijskih detektorjev KN2 v notranjosti torusa in fizijskih celic KN1 v njegovi zunanosti. Opravljene meritve in naše sodelovanje pri njih nam je ponudilo izjemno priložnost za primerjavo računskih rezultatov z merskimi in tako za njihovo validacijo. Pri vseh dejavnostih v sklopu projekta smo tesno sodelovali z raziskovalci z instituta JET in sodelavci na projektu smo bili odgovorni za večji nabor nevtronskih preračunov, med drugim za določitev kalibracijskih faktorjev. O izsledkih svojih izračunov smo zato tudi dvakrat letno poročati sodelavcem na JET znotraj skupine za fuzijsko tehnologijo (Task Froce JET3).

Opravljen delo lahko razdelimo na naslednje vsebinske pod-sklope:

#### **Priprava računskega modela**

Nadgradili smo model za preračune s programom MCNP, ki deluje na osnovi metode Monte Carlo in nam je služil kot glavno računsko orodje za primerjavo z eksperimentom. Predhodni model je obsegal le 90° sektor torusa in je bil primeren za izračune s krožno-simetričnim plazemskim izvorom, ne pa tudi za veliko manj pogoste preračune s točkastim izvorom, kot pri kalibraciji. Problem smo rešili na dva komplementarna načina; nadgradili smo model ali pa ustrezno spremenili MCNP izvorno kodo in efektivno pridobil možnost sledenja delcem, kot pri transportu po geometriji v 360°. Slednji pristop smo nato uporabili tudi za neprimerno zahtevnejši model bodočega reaktorja ITER, in je sedaj edina metoda za podobne preračune za ITER, odobravana tudi s strani skrbnikov tega modela.

Za izračune v fuzijskih reaktorjih je še posebej pomembna izbira knjižnic jedrskih podatkov saj večina knjižnic kvalitetno pokriva predvsem nižje energijsko območje nevtronov, kot ga najdemo v fizijskih reaktorjih. Analiza izračunov na primeru tokamaka JET je pokazala na razlike, ki so v določenih primerih presegle faktor 2, največje so bile v primeru ocene poškodb v materialih in manjše pri izračunu nevtronskih spektrov. Raziskovalci na projektu smo tako

tudi na podlagi pridobljenih izkušenj na tematskem sestanku, ki smo se ga udeležili v decembru 2014 na JET, soodločali glede izbire ustreznih knjižnic za uporabo v prihodnje ter izbrali evropsko knjižnico FENDL 3.0, pri čemer ni nepomembno, da sta dva izmed sodelavcev na projektu, Ivo Kodeli in Andrej Trkov, predhodno sodelovala pri evalvacijah in pripravi teh knjižnic. Najpomembnejše rezultate analize računskega modela lahko strnemo v:

- Reakcijsko hitrost detektorja KN2-3U lahko izračunamo na 5% natančno pri čemer odpade glavna negotovosti na spekter hitrih nevtronov zaradi sipanja na omejevalcih plazme. Reakcijske hitrosti v termičnem delu lahko izračunamo na 3% natančno.
- Ob izbiri pravih knjižnic podatkov le-te doprinesejo do 3% napake pri reakcijski hitrosti.

#### **Izbira ustreznih tehnik redukcije variance**

Glavna težavnost metode Monte Carlo so preračuni, pri katerih se fluks z lokacijo spreminja za več redov velikosti, kot je to primer pri JET torusu. Analogni izračuni nam v takšnih primerih ne dajejo rezultatov, zaradi česar je potrebno uporabiti metode redukcije variance. Preizkusili smo različne metode, med drugim smo za primer uporabe na JET torusu razvili metodo, pri kateri smo analizirali nevtronski fluks na določeni razdalji od plazme ter nato napisali parametrični izvor nevtronov. Od vseh preizkušenih metod se je najbolje obnesla metoda »mrežnih utežnih oken«. Pred zaključkom projekta je bil izdan nov program ADVANTG, ki sklaplja program MCNP z determinističnim programom DENOVO z namenom produkcije utežnih oken. Z njegovo uporabo smo lahko račune še bolj pospešili zaradi prostorsko in energijsko odvisnih utežnih oken za razliko od predhodnih tehnik, kjer so bila utežna okna v glavnem le prostorsko odvisna. Najpomembnejše rezultate optimizacije metod redukcije variance lahko strnemo v:

- Hitrost izračunov se zmanjša v primeru detektorjev KN1 za faktor 16-18
- Povečanje v primeru detektorja KN2-3U je omejeno le na termični in epitermični del spektra, kjer znaša do faktorja 5; detektor je v prvi vrsti občutljiv na hitre nevtrone, zaradi česar redukcija variance ni učinkovita.
- Uporaba knjižnice jedrskih podatkov FENDL pri determinističnem izračunu da najboljše rezultate

#### **Analiza eksperimentalnih podatkov kalibracije nevtronskih detektorjev**

Projekt je bil namenjen predvsem analizi rezultatov in računski podpori pri kalibraciji nevtronskih detektorjev z izotopskim nevtronskim izvorom Cf-252, ki je bila na JET izpeljana v letu 2013 ob prisotnosti vodje in nekaterih članov raziskovalnega projekta in je bila šele prva kalibracija detektorjev za nevtrone po letu 1989. Močan nevtronski izvor je bil tekom kalibracije s pomočjo sistema za daljinsko rokovanje postavljen na več kot 250 lokacij v torusu. Ena izmed pomembnih podpornih dejavnosti pri kalibraciji je bila določitev korekcijskih faktorjev zaradi razlik med pogoji v torusu tekom kalibracije in tekom rednega obratovanja, predvsem zaradi prisotnosti ali odsotnosti nekaterih komponent. Primerjavo med eksperimentalnimi in računskimi rezultati smo opravili s programom MCNP in tremi različnimi modeli JET torusa, ki so se razlikovali po stopnji podrobnosti. Izračuni z vsemi tremi modeli so se dopolnjevali, uporabil smo jih za določitev splošnih fizikalnih okoliščin med kalibracijo ter za natančne preračune porazdelitve nevtronskega fluksa in odziva detektorjev. Analize so se zavlekly še v leto 2015 in za vse izračune smo porabili več kot 50 CPU let procesorskega časa na računski gruči IJS.

Posledica natančne obdelave podatkov s strani članov projektne skupine je bila identifikacija napake, ki se je zgodila tekom kalibracije. Eksperimentalni podatki za tri izmed lokacij za detektorski sistem KN2-3U so namreč znatno odstopali od pričakovanih vrednosti. Izkazalo se je, da so podatki glede absolutne lokacije nevtronskega izvora tekom kalibracije, posredovani s strani skupine za daljinsko rokovanje, zaradi napake odstopali od dejanskih vrednosti za tudi več kot 10 cm. Z zahtevno analizo podatkov smo lahko opravili korekcijo lokacije sistema za daljinsko rokovanje.

Pomemben dosežek projektne skupine je določitev korekcijskih faktorjev, s pomočjo katerih je bilo možno določiti kalibracijske faktorje za nevtronska diagnostična sistema KN2-3U in KN1. Izkazalo se je, da so ti za posamezne lokacije nevtronskega izvora lahko dokaj veliki, tudi do 50%, a po ustreznem preračunu na njihovo integralno vrednost, ki je v končni fazi edina

pomembna, le-ta ne presega 5% za nobenega izmed štirih evalviranih diagnostičnih sistemov.

Sledila je primerjava z eksperimentalnimi rezultati, in natančna analiza je potrdila ustreznost metod in dovolj dobro ujemanje, da smo lahko zaključili, da je bila celotna negotovost kalibracije manjša od zahtevane vrednosti 10%. Sodelavci projektne skupine so imeli pomemben delež pri kalibraciji, kateri je bilo namenjeno kar 14 dni obratovanja JET torusa. Najpomembnejše rezultate analize eksperimentalnih rezultatov lahko strnemo v:

- Računski rezultati za posamezne kalibracijske točke odstopajo do eksperimenta za do 50%
- Glavni vpliv na negotovosti rezultatov KN1 imajo komponente, postavljene v bližino vakuumskih vrat, ki so najbližja detektorju ali izvoru
- Največjo razliko v integralni vrednosti, ki dosega 10%, opažamo pri detektorju D1
- Celotna negotovost kalibracije je ocenjena na 10%.

Problemi, na katere smo naleteli, si po težavnosti sledijo v naslednjem vrstnem redu:

- Nezmožnost dovolj podrobnega modeliranja kompleksnih struktur v bližini detektorjev
- Nezmožnost dovolj podrobnega opisa odprtin torusa
- Negotovost v jedrskih podatkih
- Negotovost v spektru izvora

### **Spremembe odziva detektorjev zaradi sprememb v torusu**

Konfiguracija JET torusa se je zaradi dodajanja novih eksperimentalnih komponent tekom časa precej spreminjala, kar je vplivalo tudi na spremembo nevtronskega polja v njegovi notranjosti in zunanosti, kar posledično vpliva tudi na spremenjen odziv detektorjev. Med leti 1989 in 2013 ni bila opravljena nobena kalibracija detektorjev, zaradi česar so pravilni kalibracijski faktorji za to obdobje odvisni od izračunov. Analizirali smo predhodne konfiguracije tokamaka JET in izkazalo se je, da je bil kalibracijski faktor za aktivacijski sistem KN2-3U, po nadgradnji torusa v letu 1996, izračunan z večjo napako – okoli 16% kot posledico takratnih omejenih računskih zmoglosti. Razlog je bil v nenatančnem opisu omejevalcev plazme, ki vplivajo na reakcijsko hitrost KN2-3U v hitrem delu nevtronskega spektra. Z današnjimi tehnikami je bilo to napako možno odpraviti.

Primerjali smo pomembnost velike količine komponent v zunanosti torusa. Izkazalo se je, da je njihov vpliv na fisisjske celice KN1 znaten in lahko doseže tudi faktor 4. Dodatno se je izkazalo, da so v primeru detektorjev KN1 pomembne strukture v bližini vakuumskih vrat ali neposredno v vakuumskih vratih. Najpomembnejše rezultate lahko strnemo v:

- Korekcija veljavne kalibracije za sistem KN2-3U za obdobje do leta 2013; potrebno jo bo upoštevati pri evalvaciji nekaterih preteklih eksperimentov in znaša 16%.
- Fluks v notranjosti torusa se zaradi sprememb konfiguracije ne spreminja znatno, nekoliko se je po nadgradnji leta 2010 povečal termični fluks v notranjosti torusa.
- Dodajanje komponent v zunanosti torusa ima velik vpliv v celotnem nevtronskem spektru in znaša za posamezne detektorje KN1 do štirikrat.

### **Aktivacija torusa**

Za izračun aktivacije komponent torusa in poškodb materialov smo sklopili programa MCNP za izračun nevtronskega polja in FISPACT za časovno odvisnost aktivacije. Ocenili smo doze na različnih lokacijah v torusu in izkazalo se je, da je kontaktna doza najvišja v bližini ekvatorialne ravnine na strani z visokim poljem. Najpomembnejše rezultate lahko strnemo v:

- Aktivacija komponent prve stene je največja v globini okoli 1 cm, nato pa pada z globino.
- Pričakovane poškodbe materiala na najbolj izpostavljenem mestu dosežajo vrednost 10E-5 DPA.

**Mednarodna narava projekta** je razvidna iz dejstva da smo se člani projektne skupine tekom njegovega izvajanja udeležili več kot 20 delovnih sestankov, pri čemer smo največkrat obiskali JET torus v obliki enotedenskih obiskov. Vse objave, delovna poročila in avtorstva so usklajeni in pregledani s strani raziskovalcev z JET. Priložen je seznam aktivnosti, ki so na JET potekale vzporedno z obstoječim projektom, ter ga dopolnjevale. O dosežkih vsake izmed

našteti aktivnosti je eden izmed članov projektne skupine poročal na polletnih sestankih sodelavcem z JET torusa:

- poročevalec Igor Lengar:
  - Upgrade of the 360° model of JET – Calculations, to support neutron yield calibration,
  - Upgrade of the JET MCNP model and transport calculations – comparison to previous states and neutron yield calibration support
  - MCNP Calculations as support for Neutron Generator; dose rates maps, activation,
- poročevalec Luka Snoj
  - Neutron studies for neutron calibration – calculations to support JET neutron yield calibration

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

Vsi glavni cilji projekta so bili doseženi. Realizacija dela je večinoma potekala po zastavljenem planu in večja odstopanja niso bila potrebna.

Ocenjujemo, da so bili vsi cilji izpolnjeni in deloma celo preseženi; pri tem navajam, da smo nepričakovano ugotovili napako v preteklem kalibracijskem faktorju za sistem KN2-3U, ki predstavlja glavni sistem za določitev pridelka nevtronov. Omenjena korekcija vpliva na ponovno izvedenost nekaterih izmed preteklih eksperimentov. Na podlagi analize rezultatov kalibracije smo odkrili tudi napako pri pozicioniranju sistema daljinskega rokovanja med kalibracijo in pomagali pri rekalkulaciji napačnih meritev.

Objava vseh dosežkov, vezanih na JET torus, je podvržena strogim pravilom, po katerih mora raziskovalec rokopis najprej interno objaviti in omogočiti pripombe zainteresiranih sodelavcev na JET, nato pa ga potrdijo delovni vodje in končno direktor JET. Predvsem pri pomembnih objavah, kot je tista, povezana s spremembo kalibracijskih faktorjev za preteklo obdobje, je usklajevanje dolgotrajno, zaradi česar vsi rezultati tekočega projekta še niso bili objavljeni v prosti literaturi.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Večjih odstopanj ali sprememb od predvidenega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta, ni bilo.

Tekom izvajanja je prišlo do nekaj sprememb v sestavi projektne skupine, ki so bile posledica potreb po dodatnih znanjih, ki so se izkazala za potrebna tekom projekta in tudi dejstva, da sta se dva raziskovalca zaposlila na drugih ustanovah in posledično potrebe po zapolnitvi ustreznega mesta.

V letu 2015 se je projektni skupni pridružil Urban Simončič, zapustila sta jo Romain Claude Henry in Junoš Lukan.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	29290279	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Študija poškodb in jedrskega gretja izbranih funkcionalnih materialov med JET DT kampanjo

	ANG	Radiation damage and nuclear heating studies in selected functional materials during the JET DT campaign
Opis	SLO	Nova kampanja devterij-tritij (DTE2) je načrtovana na JET v naslednjih letih, s predlaganim 14 MeV nevtronskim fluensom v višini 1.7E21, kar je skoraj za red velikosti več od vseh prejšnjih DT kampanj. Nevtronsko in gama polje v notranjosti JET med DT kampanjo na določenih lokacijah sta bila že predhodno izračunana. Ocenjeno je, da je možno doseči nevtronski fluens na prvi steni JET v višini 10E20 n/m <sup>2</sup> , kar je primerljivo s fluensom na ITER-ju ob koncu življenjske dobe na lokaciji v zadnjem delu vakuumskih vrat, kjer se nahaja več diagnostičnih komponent. Namen pričujočega dela je ocena aktivacije, sevalnih poškodb in jedrskega gretja v izbranih funkcionalnih materialih, ki bodo obsevani na JET med DT kampanjo. Te količine so izračunane z uporabo MCNP6 in FISPACT II kod. V prvi vrsti je bilo določeno nevtronsko in gama polje na določenih lokacijah znotraj naprave na JET, ki so namenjene za študije materialnih poškodb. Poudarek je na potencialni napravi za dolgotrajno obsevanje na v bližini prve stene, ki ponuja možnost, da obsevamo vzorce funkcionalnih materialov, ki se uporabljajo v diagnostiki za ITER z namenom ocene degradacije fizikalnih lastnosti materialov. Izračunane so sevalne poškodbe in jedrsko ogrevanje za izbrane materiale, obsevanih na teh položajih in za nevtronske tokove in fluense, pričakovane v med DTE2. Preučevani funkcionalni materiali obsegajo med drugim, Sapphire, YAG, ZnS, spinel, diamant. Poleg tega je s FISPACT zračunana aktivacija samega nosilca obsevalne naprave. Ugotovljene je bila stopnja poškodb v razponu okoli 1E-5 DPA.
	ANG	A new Deuterium-Tritium campaign (DTE2) is planned at JET in the next years, with a proposed 14 MeV neutron budget of 1.7E21, which is nearly an order of magnitude higher than any previous DT campaigns. The neutron and gamma ray fields inside the JET device during DT plasma operations at specific locations have previously been evaluated. It is estimated that a total neutron fluence on the first wall of JET of up to 1E20 n/m <sup>2</sup> could be achieved, which is comparable to the fluence occurring in ITER at the end of life in the rear part of the port plug, where several diagnostic components will be located. The purpose of the present work is to evaluate the radiation damage and nuclear heating in selected functional materials to be irradiated at JET during DT plasma operation. These quantities are calculated with the use of the MCNP6 code and the FISPACT II code. In particular the neutron and gamma ray fields at specific locations inside the JET device, dedicated to material damage studies, were characterized. The emphasis is on a potential long term irradiation station located close to the first wall at outboard midplane, offering the opportunity to irradiate samples of functional materials used in ITER diagnostics, to assess the degradation of the physical properties. The radiation damage and the nuclear heating were calculated for selected materials irradiated in these positions and for the neutron flux and fluence expected in DTE2. The studied candidate functional materials include, among others, Sapphire, YAG, ZnS, Spinel, Diamond. In addition the activation of the internal irradiation holder itself was calculated with FISPACT. Damage levels in the range of 1E-5 dpa were found.
Objavljeno v		North Holland; Fusion Engineering and Design; 2016; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Lengar Igor, Čufar Aljaž, Conroy S., Batistoni P., Popovichev Sergei, Snoj Luka, Syme Brian, Vila Rafael, Stankunas Gediminas
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2. COBISS ID		29365799
		Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	

		Nevtronska analiza odziva zunanjih nevtronskih detektorjev na JET
	ANG	Neutronic analysis of JET external neutron monitor response
Opis	SLO	Izhodna moč fuzijskih naprav se meri preko na pridelka nevtronov, kar neposredno odraža fuzijsko moč. Na JET je bila zamenjana prva stena iz ogljika v takšno, kot bo na ITER-ju (berilij/volfram/ogljik) v letih 2010-11. Absolutna kalibracija merjenja pridelka nevtronov z nevtronskimi detektorji je bila zagotovljena z neposrednim merjenjem ob uporabi umerjenega nevtronskega vira 252Cf (NV), manipuliranega s sistemom za daljinsko rokovanje (SDR) znotraj JET vakuumske posode. Nevtronski izračuni so bili potrebni, da bi razumeli transport nevtronov od vira v vakuumski posodi do detektorjev, nameščenih zunaj torusa na transformatorskih krakih. Razvili smo poenostavljen računski model JET in JET SDR za Monte Carlo transportne preračune in analizirali poti in strukture, preko katerih nevtroni dosežejo detektorje in učinek JET SDR na odziv nevtronskih monitorjev. Poleg tega smo izvedli več občutljivostnih študij glede učinka masivnih struktur, ki blokirajo vrata, na odziv zunanjih nevtronskih detektorjev. Poenostavljen model je nudil predvsem kakovostno sliko, zato so bili nekateri izračuni ponovljeni z podrobnejšim, 3D modelom JET tokamaka.
	ANG	The power output of fusion devices is measured in terms of the neutron yield which relates directly to the fusion yield. JET made a transition from Carbon wall to ITER-Like Wall (Beryllium/Tungsten/Carbon) during 2010-11. Absolutely calibrated measurement of the neutron yield by JET neutron monitors was ensured by direct measurements using a calibrated 252Cf neutron source (NS) deployed by the in-vessel remote handling system (RHS) inside the JET vacuum vessel. Neutronic calculations were required in order to understand the neutron transport from the source in the vacuum vessel to the fission chamber detectors mounted outside the vessel on the transformer limbs of the tokamak. We developed a simplified computational model of JET and the JET RHS in Monte Carlo neutron transport code MCNP and analyzed the paths and structures through which neutrons reach the detectors and the effect of the JET RHS on the neutron monitor response. In addition we performed several sensitivity studies of the effect of substantial massive structures blocking the ports on the external neutron monitor response. As the simplified model provided a qualitative picture of the process only, some calculations were repeated using a more detailed full 3D model of the JET tokamak.
Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2016; 6 str.; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Snoj Luka, Lengar Igor, Čufar Aljaž, Syme B., Popovichev Sergei, Batistoni P., Conroy S.	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	28006439 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Meritve pridelka nevtronov na fuzijskem reaktorju JET in njihova kalibracija
	ANG	Fusion yield measurements on JET and their calibration
Opis	SLO	Fuzijska moč poskusnih fuzijskih reaktorjev se meri s pridelkom nevtronov in je tako izražena najbolj neposredno. V tem prispevku opisujemo napravo in metode, ki se uporabljajo za in-situ kalibracijo na reaktorju JET v marcu 2013, ter prve rezultate. Opisani so glavni pristopi h kalibraciji, npr. izbira vrste nevtronskega izvora ter drugi postopki, ter prvi rezultati. Ciljna natančnost te kalibracije je bila 10%, prav tako kot pri prejšnji kalibraciji JET in kot se zahteva za ITER, kjer je natančno merjenje pridelka nevtronov pomembno, na primer za proizvodnjo tritija. Opisani so fizikalna vprašanja, varnost in inženirski



		vidiki, potrebni za neposredno umeritev fizijskih celic in aktivacijskega sistema, ki predstavlja temelje kalibracije JET. Uporabili smo sistem za daljinsko ravnanje za uporabo radioaktivnega vira Cf252. Veliko dela je temeljilo na obsežnem programu izračunov Monte-Carlo.
	ANG	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 devices and methods used to make the new in situ calibration of JET in April 2013 and 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. We discuss the constraints and early decisions which defined the main calibration approach, e.g., the choice of source type and the deployment method. We describe the physics, source issues, safety and engineering aspects required to calibrate directly the Fission Chambers and the Activation System which carry the JET neutron calibration. In particular a direct calibration of the Activation system was planned for the first time in JET. We used the existing JET remote-handling system to deploy the 252 Cf source and developed the compatible tooling and systems necessary to ensure safe and efficient deployment in these cases. The scientific programme has sought to better 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 which, e.g., revealed a potential contribution to the neutron yield via a direct line of sight through the ports which presents individually depending on the details of the port geometry.
	Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2014; Iss. 11, Vol. 89; str. 2766-2775; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Syme D.B., Popovichev Sergei, Conroy S., Lengar Igor, Snoj Luka, Sowden Benjamin Choyce, Giacomelli L., Hermon G., Allan Paul L. P., Macheta P., Plummer D., Stephens Jon, Batistoni P., Prokopowicz R., Jednorog S., Abhangi M. R., Makwana R.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	28447527   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Evalvacija nevtronske aktivacije komponent znotraj JET torusa kot posledica obsevanja z DT nevtroni ANG Evaluation of the neutron activation of JET in-vessel components following DT irradiation
	Opis	SLO Prihodnja kampanja devterij-tritij (DT) na Joint European Torus (JET) bo povzročila znatno aktivacijo komponent sistema. V tem delu smo ocenili časovni potek radioaktivnosti nuklidov v glavnih komponent znotraj torusa po koncu prihajajoče DT kampanje, ob predpostavki različnih ravni nevtronskega sevanja. Nevtronski fluks v izbranih komponentah je izračunan z MCNP5 kodo ob uporabi nevtronskega vira tipične DT plazme. Izračunani nevtronski spektri so nato vneseni v kodo FISPACT za izračun prisotnosti radioaktivnih nuklidov, kot posledico nevtronske aktivacije. Za vsak scenarij obsevanja je določen časovni razvoj hitrosti kontaktne doze. ANG The forthcoming deuterium-tritium (DT) campaign at the Joint European Torus (JET) will induce a significant activation of the system components. In the present work we evaluate the temporal evolution of the radioactive species in the main in-vessel components after the end of the future DT campaign, assuming different levels of neutron irradiation. The neutron flux in the selected components is calculated by the MCNP5 code using the

		emission source by a typical DT plasma. The resulting neutron spectra are then input to the FISPACT code that computes the evolution of the radioactive species generated by the neutron activation process. For each irradiation scenario, the time behavior of the contact dose rate is determined.
	Objavljeno v	Elsevier; Proceedings; Fusion Engineering and Design; 2014; Iss. 9-10, Vol. 89; str. 2071-2075; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Vuolo M., Bonifetto R., Dulla S., Heinola K., Lengar Igor, Ravetto Pierro, Villari R., Widdowson A., Zanino R.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	26907943 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Izračuni za podporo pridelka nevtronskih na tokamaku JET
		<i>ANG</i> Calculations to support JET neutron yield calibration
	Opis	<i>SLO</i> Po zamenjavi prevleke CFC stene za takšno, kot bo v reaktorju ITER (berilij / wolfram/ ogljik) v obdobju 2010/ 2011, bo kalibracijo pridelka nevtronov treba potrditi z neposrednim merjenjem z 252Cf izvorom nevtronov, Nevtronski izračuni so potrebni za izračun vpliva daljinskega sistema JET. Razvili smo poenostavljen geometrijski računski model JET z daljinskim sistemom (DS) za obdelavo z MCNP. Vzporedno smo razvili rutino, ki prevaja podatke o gibanju DS. V zadnji fazi smo postavili JET DS sistem v poenostavljenem MCNP modelu JET tokamaka ter raziskali njegov vpliv na odziv nevtronskih monitorjev za nekatere primere položajev in konfiguracije DS. Ker so lahko korekcijski faktorji zaradi prisotnosti DS sistema potencialno pomembni v nekaterih primerih smo izbrali konfiguracije tirnice, tako da smo se temu izognili. Primeri so podani.
		<i>ANG</i> 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 252Cf 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: 0.972; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.957; WoS: RY; Avtorji / Authors: Snoj Luka, Lengar Igor, Čufar Aljaž, Syme B., Trkov Andrej
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

--	--

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	28446247
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Nevtronska analiza in orodja pri razvoju Evropskega programa DEMO
		ANG Neutronic analyses and tools development efforts in the European DEMO programme
	Opis	SLO European Fusion Development Agreement (EFDA) je pred kratkim sprožila program za bodočo fuzijsko elektrarno z namenom, da se razvije konceptualna zasnova demonstracijskega fuzijskega reaktorja (DEMO), ki obravnava ključna vprašanja tehnologije in fizike. Program je namenjen nevtroiki, ki mora med drugim opredeliti in preveriti zahteve in robne pogoje za sistem DEMO. Kakovost vhodnih podatkov je odvisna od zmogljivosti in zanesljivosti računskih orodij. V skladu s tem dejavnosti na področju nevtroike vključujejo tako jedrske analize za DEMO, kot tudi prizadevanja za razvoj nevtroinskih orodij, vključno z validacijo in verifikacijo. Članek poroča o prvih nevtroinskih študijah za DEMO in o oceni in nadaljnjemu razvoju nevtroinskih orodij.
		ANG The European Fusion Development Agreement (EFDA) recently launched a programme on Power Plant Physics and Technology (PPPT) with the aim to develop a conceptual design of a fusion demonstration reactor (DEMO) addressing key technology and physics issues. A dedicated part of the PPPT programme is devoted to the neutronics which, among others, has to define and verify requirements and boundary conditions for the DEMO systems. The quality of the provided data depends on the capabilities and the reliability of the computational tools. Accordingly, the PPPT activities in the area of neutronics include both DEMO nuclear analyses and development efforts on neutronic tools including their verification and validation. This paper reports on first neutronics studies performed for DEMO, and on the evaluation and further development of neutronic tools.
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v	Elsevier; Proceedings; Fusion Engineering and Design; 2014; Iss. 9-10, Vol. 89; str. 1880-1884; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Fischer U., Bachmann C., Bienkowska B., Catalan J., Drozdowicz K., Dworak D., Leichtle D., Lengar Igor, Jaboulay J. C., Moro F., Mota F., Sanz Jesús, Szieberth M., Palermo I., Pampin R., Porton M., Pereslvtsev P., Ogando F., Rovni I., Tracz G., Villari R., Zheng Shaohui
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	28556583
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Doze po zaustavitvi na JET z novo ILW steno in napoved pričakovane doze po prihodnjem eksperimentu DT
		ANG Shutdown dose rate at JET with the new ILW and prediction of the expected dose level after future tritium experiment
	Opis	SLO Aktivnost je bila skupno delo asociacij ENEA, KIT, CCFE in SFA. Doze po zaustavitvi na JET so bile določene eksperimentalno, vzporedno so bili narejeni izračuni. Aktivnost je bila nadaljevanje preteklih dejavnosti, ki se izvajajo več let. Obstajata dva različna metodološka pristopa za tridimenzionalni izračun doze: R2S, ki ga razvija KIT in D1S, ki ga razvijata skupina ITER in ENEA. Obe metodi, čeprav z različnimi pristopi, uporabljata MCNP Monte Carlo program za transportne izračune in kodo FISPACT za aktivacijo. Cilj trenutnega dela je izračun hitrosti doze v kratkih časih hlajenja, izračuni so natančnejši glede na predhodne. Dodatne informacije o glavnih nuklidih, pomembnih za aktivacijo dobimo tudi z gama spektrometrijo.

			<p>The activity was a joint work of the associations ENEA, KIT, CCFE and MESCS-SFA. The shutdown dose rate in the JET torus was determined experimentally, in parallel calculations have been done. The activity was a follow-up of past activities, performed over several years. Basically two different methodological approaches have been developed in the frame of the Fusion Technology Program for the three-dimensional calculation of the shutdown dose rate: the so-called Rigorous two-step method (R2S) developed by KIT and the Direct one-step method (D1S) developed by the ITER team and ENEA. Both methods, even if with different approaches, use the MCNP Monte Carlo Code for transport calculation and the FISPACT inventory code.</p> <p>The aim of the present task is the measurement and corresponding calculation of the shutdown dose rate at short cooling times, more accurate with respect to the previous ones. Additional information on the main contributors to the doses is also obtained through gamma spectrometry.</p>
	Šifra	F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Objavljeno v	Jožef Stefan Institute; Association EURATOM - MESCS; Annual report ...; 2014; str. 87-88; Avtorji / Authors: Lengar Igor, Snoj Luka	
	Tipologija	1.04 Strokovni članek	
3.	COBISS ID	29359911	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Fizikalni testi na ničelni moči za cikel 28, Nuklearna elektrarna Krško
		ANG	Report on the zero power physics tests for cycle 28 of the Krško NPP
	Opis	SLO	<p>Vodja s strani IJS za opravljanje Zagonskih testov na ničelni moči v Nuklearni elektrarni Krško; cikel 28</p> <p>Po vsakem remontu v Nuklearni elektrarni Krško je potrebno, v skladu z zahtevami URSJV, pred zagonom na moč opraviti testiranje obnašanja reaktorja na ničelni moči. Pri tem primerjamo odzive reaktorja na vstavitve kontrolnih svežnjev, temperaturne spremembe in koncentracijo borove kisline v hladilu s predhodno izračunanimi vrednostmi. Od leta 2004 sem, z eno izjemo zaradi podoktorskega usposabljanja v tujini, vodil skupino strokovnjakov z Instituta Jožef Stefan, ki smo izvajalci omenjenih testov. Vsakokrat smo teste uspešno izvedli in tako so-omogočili pridobitev obratovalnega dovoljenja NEK za naslednji cikel.</p>
		ANG	<p>Head to the JSI team for the start-up zero power physics tests in the Nuclear Power Plant Krško; cycle 28</p> <p>After each outage in the Krško NPP it is necessary, in accordance with the requirements of the SNSA, to perform the testing of the reactor on zero power before the increase of its power. In doing so, the responses to the insertion of the reactor control assemblies, temperature changes and the concentration of boric acid in the coolant are compared with the previously calculated values. Since 2004, with one exception for postdoctoral training abroad, I have led a group of experts from the Jožef Stefan Institute, to perform the said tests. Each time the tests were performed successfully and thus the permission for the operation for the next cycle could be obtained.</p>
	Šifra	F.12	Izboljšanje obstoječe storitve
	Objavljeno v	Inštitut Jožef Stefan; 2015; 32 str.; Avtorji / Authors: Lengar Igor, Kromar Marjan, Merljak Vid, Slavič Slavko, Čufar Aljaž, Žefran Bojan	
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	
4.	COBISS ID	29366055	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Primerjava vira DT nevtronov med kodami MCUNED, ENEA-JSI in DDT

		ANG	Comparison of DT neutron production codes MCUNED, ENEA-JSI source subroutine and DDT
Opis		SLO	Fuzijska DT reakcija proizvaja nevtrone z energijami bistveno višjimi kot v fisijskih reaktorjih, zaradi česar so potrebni posebni testni eksperimenti, ki se jih pogosto izvaja z uporabo DT nevtronskih generatorjev. Vendar pa prevladujočih Monte Carlo transportnih kod, kot so MCNP ali Tripoli, ni mogoče neposredno uporabiti za analizo teh poskusov, saj nimajo zmogljivosti za modeliranje proizvodnje DT nevtronov. Trije pristopi za modeliranje vira nevtronov iz DT generatorja so kode MCUNED, podprogram ENEA-IJS DT in koda DDT. Koda MCUNED je razširitev uveljavljene in potrjene Monte Carlo kode MCNPX. Podprogram ENEA-IJS je bil prvotno zasnovan za modeliranje testnih poskusov FNG in omogoča modeliranje DT in DD nevtronskih virov. Koda DDT pripravi izvorno DT datoteko (SDEF kartica v MCNP), ki se potem lahko uporablja v raznih različicah kode MCNP. V članku so opisane metode za simulacijo proizvodnje DD in DT nevtronov z aplikacijo na kalibracijo reaktorja JET. Narejena je primerjava z enostavnim pospeševalnikom DT nevtronov.
		ANG	As the DT fusion reaction produces neutrons with energies significantly higher than in fission reactors special fusion relevant benchmark experiments are often performed using DT neutron generators. However, commonly used Monte Carlo particle transport codes such as MCNP or TRIPOLI cannot be directly used to analyze these experiments since they do not feature capabilities to model production of DT neutrons. Three available approaches to model the DT neutron generator source are the MCUNED code, the ENEA-JSI DT source subroutine and the DDT code. The MCUNED code is an extension of the well-established and validated MCNPX Monte Carlo code. The ENEA-JSI source subroutine was originally prepared for the modelling of the FNG benchmark experiments using different versions of the MCNP code (-4, -5, -X) and was later extended to allow the modelling of both DT and DD neutron sources. The DDT code is a code that prepares the DT source definition file (SDEF card in MCNP) which can then be used in different versions of the MCNP code. In the paper the methods for the simulation of the DT neutron production, with implication on the use for JET calibration is described. The codes are briefly described and compared for the case of a simple accelerator based DT neutron source.
Šifra	F.04 Dvig tehnološke ravni		
Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2016; 6 str.; Impact Factor: 1.152; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.925; WoS: RY; Avtorji / Authors: Čufar Aljaž, Lengar Igor, Kodeli Ivan Aleksander, Milocco Alberto, Sauvan Patrick, Conroy S., Snoj Luka		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
5. COBISS ID	29092391	Vir: COBISS.SI	
Naslov	SLO	Jedrska znanost na Institutu Jožef Stefan, Odsek za reaktorsko fiziko	
	ANG	Nuclear science at the Jožef Stefan Institute, Reactor physics division	
Opis	SLO	Predavanje na ORNL, Skupina za radiacijski transport/Divizija za reaktorje in jedrske sisteme	
		Predstavitev dela na Odseku za reaktorsko fiziko, Instituta Jožef Stefan, Slovenija. Raziskave so osredotočene na reaktor TRIGA in fuzijske reaktorje JET in ITER. Raziskave na področju reaktorske fizike so usmerjene predvsem na nove računske metode za močnostne in raziskovalne reaktorje, pri čemer je posebna pozornost namenjena analizi in testiranju jedrskih podatkov in računskih metod. Računski paket za projektne izračune sredice močnostnih reaktorjev je bil razvit s strani raziskovalcev Odseka in se uporablja za načrtovanje polnitive sheme za gorivo v Jedrski	

		elektrarni Krško od njenega prvotnega zagona. Posebej intenzivno smo vključeni v transportne preračune za JET – Joint European Torus, kjer sodelujemo pri kalibraciji nevtronskih detektorjev, analizi aktivacije in transportnih preračunih. Sodelujemo na projektu za bodoči fuzijski reaktor ITER.
	ANG	Seminar at ORNL, Reactor and Nuclear Systems Division / Radiation Transport Group  An overview of the work performed at the Reactor Physics Division of the Jožef Stefan Institute, Slovenia, was presented. The research is focused around the TRIGA reactor and the fusion reactors JET and ITER. The research in reactor physics is oriented mostly into new methods for power and research reactor calculations, where special attention is given to the calibration and benchmarking of nuclear data and computational methods. A power reactor core design package has been developed by Department's researchers and is being used to calculate fuel cycles for Krsko Nuclear Power Plant since its initial startup. We are intensively involved in transport calculations for JET – the Joint European Torus with neutron calibration support and transport calculations and for the future reactor ITER.
Šifra	B.04	Vabljen predavanje
Objavljeno v	ORNL; 2015; Avtorji / Authors: Lengar Igor	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>Z</sup>

Med delom na projektu smo prišli do pomembnih rezultatov, predvsem v zvezi z analizo rezultatov po nevtronski kalibraciji. Vodja projekta sem potek kalibracije predstavil na več delovnih sestankih in bil v tudi stiku z vodjem za nevtronske preračune na prihodnjem reaktorju ITER, kjer so naše rezultate sprejeli z odobravanjem. Dogovorila sva se za izmenjavo znanj saj bodo naše izkušnje koristne pri podobnem projektu na ITER, ko bodo čez nekaj let pred prvim zagonom opravili podobno kalibracijo.

Tudi na podlagi uspešnega dela na projektu smo raziskovalci projektne skupine na istem področju, namreč področju transportnih preračunov, v letu 2014 uspešno kandidirali za raziskovalni projekt na doslej največjem razpisu za JET, in sicer v sklopu novonastale organizacije EuroFusion, za obdobje 2014-2018, na katerem smo dobili odobritev projekta v sklopu "JET Technological Exploitation of DT Operation Work Package (WPJET3)".

Vodja tekočega projekta sem lahko pridobljene izkušnje uspešno izkoristil tudi pri našem delu za prihodnji fuzijski reaktor ITER v sklopu projekta F4E, 2015-2017, in tako vodim 2 podsklopa pri načrtovanju Radialne nevtronske kamere (Radial Neutron Camera) za ITER.

Zaradi uspešne nadgradnje modela sem vodja raziskovalnega projekta ohranil skrbništvo nad enim izmed MCNP modelov za preračune JET torusa.

Vodja projekta sem bil februarja leta 2014 s strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport imenovan v upravni odbor Fusion for Energy, evropskega partnerja na projektu ITER, s sedežem v Barceloni.

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>S</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

Za uspešno obratovanje tokamaka JET je nujna kvalitetna diagnostika in s tem povezana pravilna določitev fuzijske moči, saj so obratovalni pogoji JET torusa vezani na njo. Uspešno

izvrednotenje podatkov kalibracije je bilo zato pomembno tako z znanstvenega kot z uporabnega vidika.

Med projektom smo potrdili domnevo, da je možno eksperimentalne negotovosti kalibracije znižati na nivo pod 10%. Hkrati se je izpostavila težavnost primerjave z računskimi rezultati. Primerjali smo namreč 250 posameznih meritev za štiri različne detektorje, od katerih so bili trije v zunanosti torusa in s tem močno odvisni od upočasnjevanja in atenuacije nevtronskega fluksa. Izkazalo se je, da obstoječe računske zmožnosti dosežejo svojo skrajno mejo za uspešen opis eksperimentalnih podatkov z računi. Omenjena dognanja bodo pomembno prispevala k načrtovanima kalibracijama z DT izvorom na reaktorjih JET in ITER. Posebej pomembni bodo pridobljeni podatki pri podobni načrtovani kalibraciji na bodočem reaktorju ITER, ki bo zaradi svoje veliko večje fuzijske moči licenciran v skladu s strožjo regulativo. Negotovost kalibracije, in s tem absolutno določene fuzijske moči, ne bo smela preseči 10%.

Kalibracija izvedena na JET bo predvidoma zadnja, pred zahtevnejšo kalibracijo reaktorja ITER in člani projektne skupine se z raziskovalci z reaktorja ITER dogovarjamo za sodelovanje in posredovanje izkušenj.

Razvili smo računsko metodo, s katero smo nadgradili model za preračune s programom MCNP, ki je predhodno obsegal le 90° sektor torusa in je bil primeren za izračune s krožno-simetričnim plazemskim izvorom, ne pa tudi za veliko manj pogoste preračune s točkastim izvorom, kot v primeru kalibracije. Problem smo rešili s spremembo MCNP izvorne kode in učinkovito pridobili možnost sledenja delcem, kot pri transportu po geometriji v 360°. Pristop smo nato uporabili tudi za neprimerno zahtevnejši model bodočega reaktorja ITER, in je sedaj edina metoda za podobne preračune za ITER, odobravana tudi s strani skrbnikov tega modela.

Za preračune smo testirali različne tehnike redukcije variance in zaključili, da je uporaba energijsko odvisnih utežnih oken za tako kompleksne sisteme, kot je JET torus, najprimernejša. Najustreznejša je uporaba knjižnice FENDL 3.0. Primerjava eksperimentalnih in izračunanih vrednosti bo lahko služila za referenčni testni eksperimenti na področjih ščitenja in fuzijske nevttronike.

ANG

For a successful operation of the JET Tokamak excellent diagnostics and the related correct determination of the fusion power are necessary, as the operating conditions of the JET torus are connected to it. A successful evaluation of the calibration data was therefore important both from the scientific and applicable point of view.

We confirmed the assumption that it is possible to reduce the degree of uncertainty of calibration to the level below 10%. At the same time the difficulty of comparison with the numerical results was evident. We namely compared 250 individual measurements for four different detectors, of which three were in outside of the torus and thus highly dependent on the slowing down and attenuation of the neutron flux. It turned out that the existing computational capabilities reach its limits for a successful description of the experimental data. The mentioned findings will make an important contribution to the planned calibration with a DT source at JET and at ITER.

The obtained data will be particularly important for a similar planned calibration on the future reactor ITER, which will be, due to its much higher fusion power, licensed under the more stringent regulations. The uncertainty of calibration, and thus the absolute fusion power, must not exceed 10%.

The calibration, carried out at JET, is expected to be the last one before the more demanding calibration at ITER. Members of the project team are in contact with researchers from ITER for cooperation and share of experience.

We have developed a method, by which we upgraded the MCNP model, which had previously consisted of an sector of only 90° of the torus and was suitable for calculations with a circular-symmetrical plasma source, but not for the much less frequent calculations with a point source, as during the calibration. The problem was solved by modifying the MCNP source code and we

effectively acquired the ability to trace particles, as if transported in 360 ° geometry. The approach was then used for the much more sophisticated model of the future ITER reactor, and it is now the only method for similar calculations for ITER, supported also by the administrator of the ITER model.

We tested different techniques for variance reduction and concluded that the use of energy-dependent weight windows is most suitable for such complex systems, as the JET torus. The most suitable is the FENDL 3.0 library. Comparisons of experimental and calculated values will serve as benchmark experiments in the areas of shielding and fusion neutronics.

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Ponudba za sodelovanje na tako pomembnem projektu je priznanje za slovenske znanstvenike, uspešna izvedba pa nam je utrla pot v bodoče projekte in razširitev našega dela tudi na širšem področju fuzije. JET torus je trenutno največji delujoči eksperiment s področja fuzije, tako smo se tekom dela neprestano srečevali in sodelovali tudi z najbolj priznanimi strokovnjaki na področju nevtronike za fuzijske reaktorje. Pridobljene izkušnje bomo lahko preko predavanj in mentorstev posredovali naslednjim rodovom slovenskih raziskovalcev.

Uspešno sodelovanje nam je utrla pot za pridobitev dodatnih projektov na področju transportnih preračunov za fuzijske reaktorje, v prvi vrsti v nadaljevanje obstoječega dela na najobsežnejšem projektu za reaktor JET doslej, ki je bil razpisan s strani nove organizacije EuroFusion, in sicer »Aktivnosti v sklopu kalibracije z DT izvorom za reaktor JET«, v letih 2014-2018. V sklopu omenjenega projekta pokrivamo iste odgovornosti, kot smo jih do sedaj, s tem da se je nabor našega dela še razširil. Na ta način se bo prisotnost slovenskih raziskovalcev na JET nadaljevala in razširila, v letu 2014 sta se z obiski in delom za JET uspešno vključila še dva mlada raziskovalca, katerih mentorja sva sodelovala pri tekočem projektu.

Vodja projekta sem, tudi na podlagi uspešnega dela za JET, v letu 2015 prejel vodenje dveh podsklopov na projektu –Radialne kamere za nevtrone (Radial Neutron Camera) za prihodnji fuzijski reaktor ITER; gre za podobno področje dela kot pri JET. Prav tako smo sodelovali pri delu za bodočo demonstracijsko fuzijsko elektrarno DEMO na projektu z naslovom »Tritium breeding ratio assessment«. Mednarodne povezave na takšnem nivoju pomembno vplivajo na dostop slovenskih znanstvenikov do znanja na področju nevtronike za fuzijske reaktorje.

Težišče tekočega projekta so bili transportni preračuni za potrebe nevtronske diagnostike. Z zelo podobnimi oziroma enakimi problemi se srečujemo tudi pri delu za fuzijski reaktor v Nuklearni elektrani Krško, kjer pa so možnosti izvajanja eksperimentov zelo omejenem oziroma jih ni, saj gre za razliko od reaktorja JET za popolnoma komercialni tip reaktorja. Vsaka izkušnja, pridobljena drugje, je zato dobrodošla. Osvojena znanja na področju nevtronske diagnostike bomo lahko tako uporabili pri tekočih in prihodnjih projektih za NEK s čemer bo še povečana tudi jedrska varnost.

Izbira knjižnic jedrskih podatkov pomembno prispeva k kvaliteti vsakega transportnega preračuna. Sodelavec na projektu, Andrej Trkov, je delo končal predčasno, saj je tudi zaradi uspešnega sodelovanja na tekočem projektu prejel visoko pozicijo na IAEA - Nuclear Data Section, kot skrbnik za nekatere najpomembnejših knjižnic podatkov. Slovenski raziskovalci imamo tako neposreden dostop do najnovejših knjižnic in kvalitetnega svetovanja glede njihove uporabe.

ANG

The offer to participate in such an important project is a recognition for Slovenian scientists and the successful completion did pave us the way to future projects and expansion of our work in the wider field of fusion. JET torus is currently the largest operational fusion experiment and during the work we constantly faced and cooperated with the most renowned experts in the field of neutronics for fusion reactors. The experience gained will be passed to the following generations of Slovenian researchers through lectures and mentoring.



Through the successful cooperation we have paved the way for the acquisition of additional projects in the field of transport calculations for fusion reactors, primarily in the continuation of existing work on the largest project for JET so far, which was launched by the new organization EuroFusion, namely "Activities for the DT calibration for JET" for the years 2014-2018. Within the framework of the project we cover the same responsibilities, as we have so far, in addition our work has expanded. In this way, the presence of Slovenian researchers at JET continued and expanded. In 2014 two young researchers, whose mentors participated in the current project, visited jet and successfully joined the work.

The project leader has, also on the basis of successful work for JET, in 2015 obtained the leadership on two sub-projects for the Radial Neutron Camera project for the future fusion reactor ITER; the scope of work is similar then for JET. We also participate in the work for a future demonstration fusion power plant DEMO, with a project entitled "Tritium breeding ratio assessment." International connections on such a level have a significant impact on the Slovenian scientist's access to knowledge in the field of fusion reactor neutronics at the highest level.

The focus of the current project were transport calculations for the purposes of neutron diagnostics. A very similar problem is encountered also in the work for the fission reactor in the Krško Nuclear Power Plant. The possibilities for the implementation of experiments at NEK are very limited or non-existent, as it is a fully commercial type of reactor, unlike JET. Each experience acquired elsewhere is therefore welcome. The accomplished knowledge in the field of neutron diagnostics can be used in current and future projects for the Krško NPP, with which nuclear safety will increase.

The choice of nuclear data libraries significantly contributes to the quality of each transport calculation. A collaborator on the project, Andrej Trkov, finished his work on the project early, since also due to his successful cooperation at JET, he received a high position at the IAEA - Nuclear Data Section, as a trustee for some of the most important data libraries. Through this link, Slovenian researchers have a direct access to the latest libraries and high-quality advice on their use.

#### 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		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

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

<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	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	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
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"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
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"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>						
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"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>						
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"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>						
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"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

**12.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

	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 2015<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Kot pomemben znanstveni dosežek ocenjujem dovolj natančen izračun porazdelitve nevtronskega fluksa in spektrov izvora Cf-252 med kalibracijo. To nam je omogočilo primerjavo z eksperimentalnimi vrednostmi in tako oceno skupne napake kalibracije.

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Tudi na podlagi uspešnega dela za JET smo lahko delo v letu 2015 razširili na projekt – Radialne kamere za nevtrone (Radial Neutron Camera) za prihodnji fuzijski reaktor ITER; gre za podobno področje dela kot pri JET.

ITER je vmesni korak na poti k prvi fuzijski elektrarni, ki bo predstavljala skoraj neomejen vir nizko-ogljicne energije za prihodnost.

## 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"

Igor Lengar

**ŽIG**

Datum:

21.3.2016

**Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/9**

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

<sup>2</sup> 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](#)

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

<sup>4</sup> 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](#)

<sup>5</sup> 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](#)

<sup>6</sup> 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](#)

<sup>7</sup> 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](#)

<sup>8</sup> 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](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> 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](#)

<sup>12</sup> 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

F8-39-81-1B-C8-48-50-63-53-73-F6-F0-90-53-D6-27-9F-D0-87-28

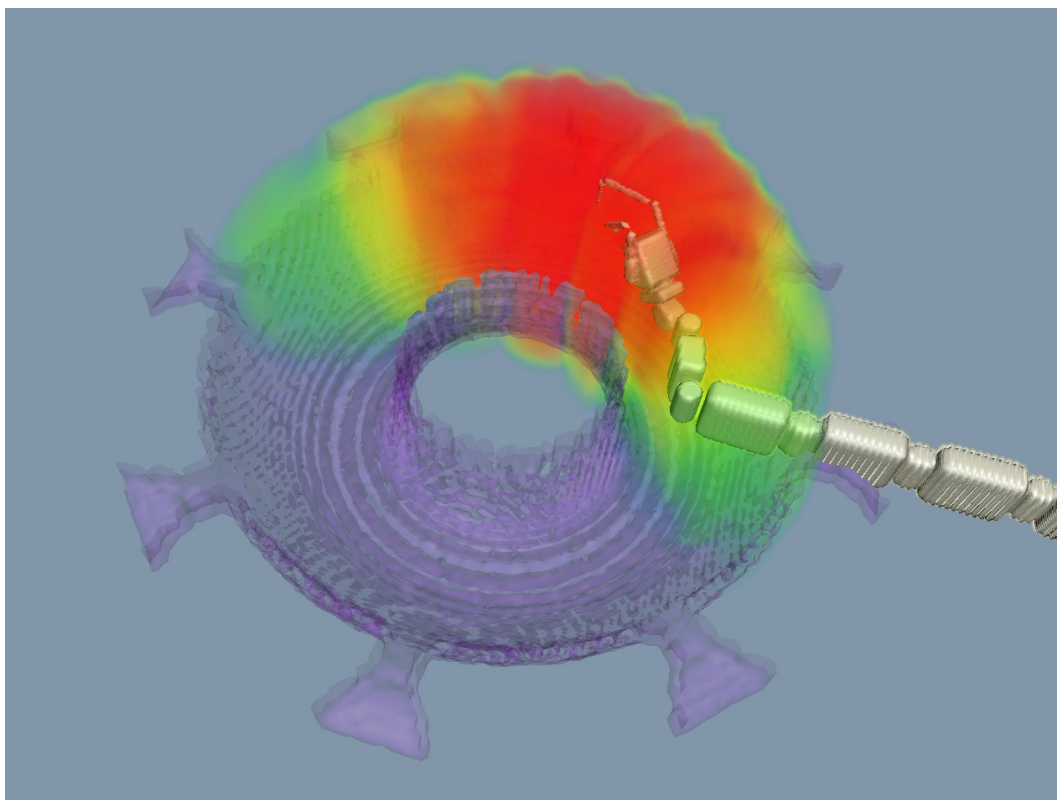


## **Priloga 1**

## TEHNIKA

Področje: 2.03 Energetika

Dosežek 1: \_\_\_\_\_, Vir:



Porazdelitve nevtronskega fluksa v notranjosti fuzijskega reaktorja JET; močan nevtronski izvor  $^{252}\text{Cf}$  je pritrjen na konici sistema za daljinsko rokovanje

Pomemben znanstveni dosežek je natančen izračun porazdelitve nevtronskega fluksa in spektrov v notranjosti JET torusa. Nevtronski izvor med kalibracijo je izotopski  $^{252}\text{Cf}$ . Dovolj natančen izračun porazdelitve nam je omogočil primerjavo z eksperimentalnimi vrednostmi in tako oceno skupne napake kalibracije.

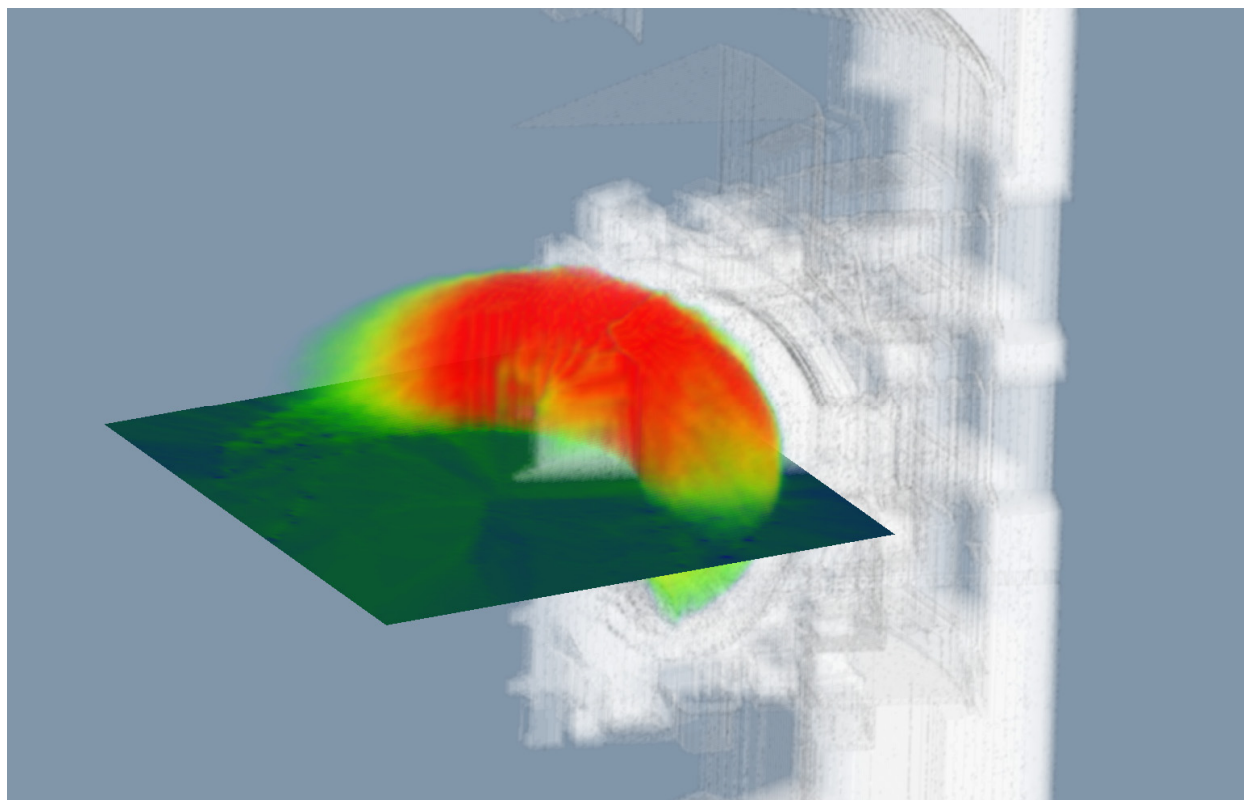
Za uspešno obratovanje fuzijskega reaktorja JET je nujna kvalitetna diagnostika in s tem povezana pravilna določitev fuzijske moči, saj so obratovalni pogoji JET torusa vezani na njo. Uspešno izrednotenje podatkov kalibracijo je bilo zato pomembno tako s znanstvenega kot uporabnega vidika. Na sliki je grafična predstavitev intenzitete nevtronskega fluksa v tokamaku JET. Z dovolj veliko natančnostjo izračunane vrednosti smo primerjali z merskimi rezultati in določili negotovosti kalibracije.

## **Priloga 2**

## TEHNIKA

Področje: 2.03 Energetika

Dosežek 2: \_\_\_\_\_, Vir:



Porazdelitve fluksa žarkov gama v notranjosti bodočega fuzijskega reaktorja ITER; izvor žarkov gama so pobegli elektroni (runaway electrons), ki lahko v tokamaku ITER dosežejo 100 MeV

Pomemben dosežek raziskovalne skupine je pridobitev podobnega projekta za bodoči reaktor ITER in s tem širitev dela znotraj področja fuzijske nevtronike. Na sliki je natančen izračun porazdelitve žarkov gama, ki nastanejo kot posledica hitrih elektronov, ko zadenejo prvo steno reaktorja ITER.

Pobegli elektroni (Runaway electrons) lahko v tokamakih dosežejo zelo visoke energije do 100 MeV in nosijo znaten del plazemskega toka. V primeru trka s prvo steno lahko naredijo znatne poškodbe, zaradi česar jih je potrebno natančno kontrolirati.

Na sliki je porazdelitev zavornega sevanja, kot posledica trka žarka pobeglih nevtronov v prvo steno tokamaka ITER.