

Participarea Romaniei la EUROfusion WPJET4 si cercetari complementare

Director de proiect:

- Teddy Craciunescu (INFLPR Bucuresti, teddy.craciunescu@inflpr.ro)
- Sorin Soare (ICSI Ramnicu Valcea, [Sorin.Soare@icsi.ro](mailto:Soare@icsi.ro))

Asa cum rezulta din documentele ce statueaza cercetarea stiintifica privind fuziunea nucleara in cadrul programului Orizont 2020, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) va reprezenta prima prioritate.

Pentru realizarea ITER, reactorul JET (Joint European Torus) de la Culham, Marea Britanie joaca un rol fundamental. JET a stat la baza elaborarii proiectului ITER. In plus campaniile experimentale JET vor fi orientate spre solutionarea unor probleme de fizica esentiale pentru functionarea ITER. Aceste campanii vor include in final un set cuprinzator de experimente de tip DT (deuteriu-tritiu) menite sa demonstreze compatibilitatea dintre regimurile de operare inductive cu materialele peretelui ILW (ITER-Like Wall).

In cadrul experimentelor DT se vor obtine fluxuri importante de particule alfa cu parametri pe cat de apropiati posibili de cei caracteristici pentru ITER. Aceasta reprezinta o ocazie excelenta pentru studiul confinarii particulelor alfa, fenomen essential pentru realizarea fuziunii controlate in ITER sau DEMO, etape cheie ale programelor de fuziune ce tintesc, in final, la realizarea scopului de a produce energie in regim comercial.

Upgradarea sistemului de spectrometrie gama tangential de la JET (GSU)

Proiectul are ca scop transformarea sistemului spectrometric KM6T de la JET intr-un instrument util studiului confinarii particulelor alfa in timpul experimentelor DT de la JET. IFA (ca membru al consorțiului EUROfusion) impreuna cu INFLPR (linked-third-party) conduc acest proiect din al carui consorțiu mai fac parte: ICI Ramnicu-Valcea, INOE Bucuresti, CCFE Marea Britanie, ÖAW Austria, CNR Italia, IPPLM Polonia, IST Portugalia, SFA Slovenia.

Principalele obiective sunt legate de proiectarea si a realizarea sistemului de ecranare si atenuare a radiatiilor neutronice si gamma. Acest sistem contine un set de ecrane pentru reducerea fondului de radiatie gama parazita rezultat in urma activarii cu neutroni a unor componente metalice invecinate sistemului spectrometric. O alta componenta esentiala a sistemului este setul de atenuatori ai fluxului neutronic contruit prin asamblarea in incinte de otel inoxidabil a unor module de hidrura de litiu. Rolul atenuatorilor este de diminua fluxul neutronic la detector si a asigura in acest fel masuratori gama de inalta eficacitate si rezolutie. Modulele de hidrura de litiu sunt realizate pe baza unei tehnologii proprii dezvoltate in cadrul acestui proiect. Modulele de hidrura de litiu sunt compuse

din discuri standardizate avand o protectie laterala din inox. Lungimea de atenuare se stabileste prin suprapunerea unui numar de astfel de discuri standardizate care sunt continute intr-o carcasa de inox 304L. Carcasa este realizata pe baza tehnologiei de vid ultra inalt, fiind complet metalica inclusiv etansarera dupa umplerea cu discuri de hidrura de litiu. A fost elaborata o procedura de realizare si manipulare in conditii de asigurare a calitatii si minimizare a riscurilor. Carcasele de protectie care contin discurile de hidrura de litiu sunt stocate individual in cutii de protectie, rezistente la socuri mecanice, ermetice la apa. In interior cutiile contin o cantitate de vermiculit, material absorbant si ignifug cu care se asigura hidrura de litiu pentru transport de catre firmele specializate. Proiectarea modulelor sistemului a fost asistata de de evaluari Monte Carlo a campurilor de radiatii (neutroni si gama) in vederea optimizarii raportului semnal-zgomot la detector.

Perioada de desfasurare: 2014-2018

Obiective:

- Conducerea si coordonarea activitatilor partenerilor internationali din proiect
- Realizarea sistemului de ecranare si atenuare a radiatiilor neutronice si gamma
- Realizarea sistemului de atenuatori ai fluxului neutronic bazati pe hidrura de litiu

Etape si activitati prevazute:

- Realizarea planului de management al proiectului
- Realizarea unui prototip de atenuator de neutron construit din hidrura de litiu la scara sistemului KM6T de la JET
- Dezvoltarea solutiilor de design pentru componentele de ecranare a radiatie gama si neutronice
- Elaborarea desenelor de executie a componentelor sistemului de ecranare. Solutii privind un proces de fabricare si o mentenanta optima.
- Evaluarea MCNP a fluxului de radiatii in zona detectorului gama. Evaluarea influentei componentelor nou introduse in sistem.
- Realizarea atenuatorilor de neutroni. Evaluarea implicatiilor privind siguranta utilizarii atenuatorilor LiH.

Parteneri externi:

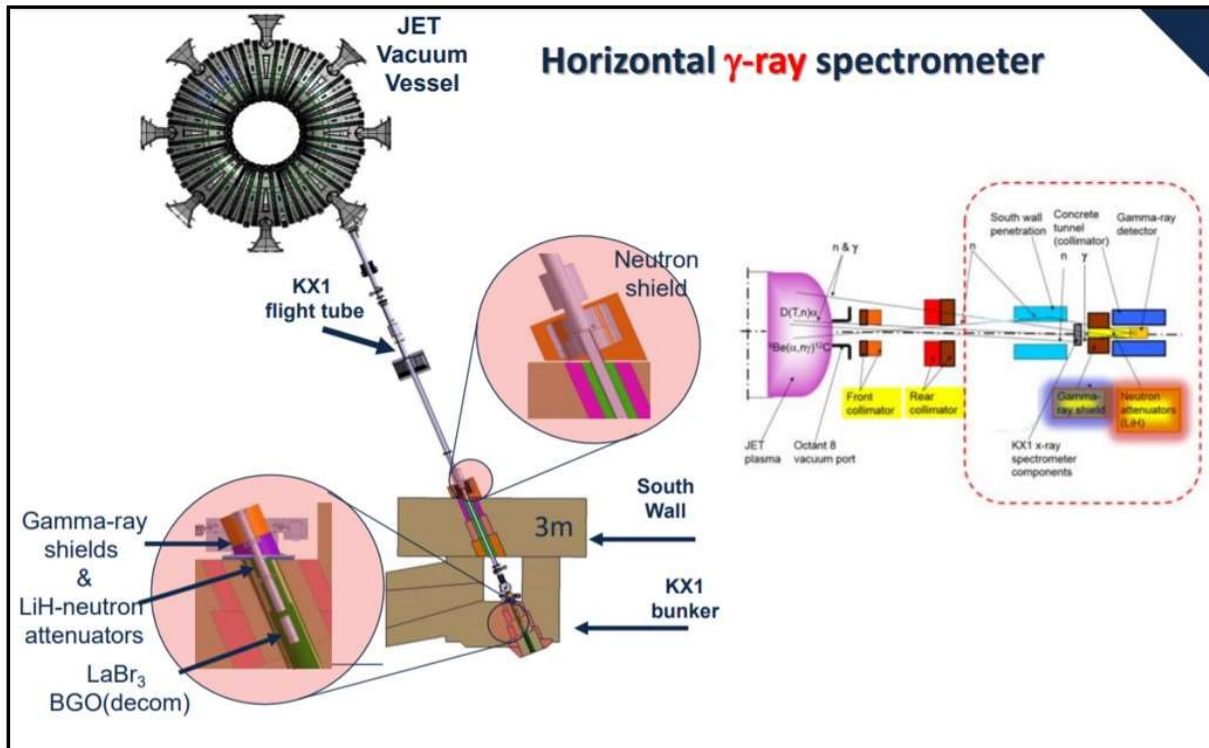
- CCFE Marea Britanie
- ÖAW Austria
- CNR Italia
- IPPLM Polonia
- IST Portugalia
- SFA Slovenia.

Rezultatele obtinute:

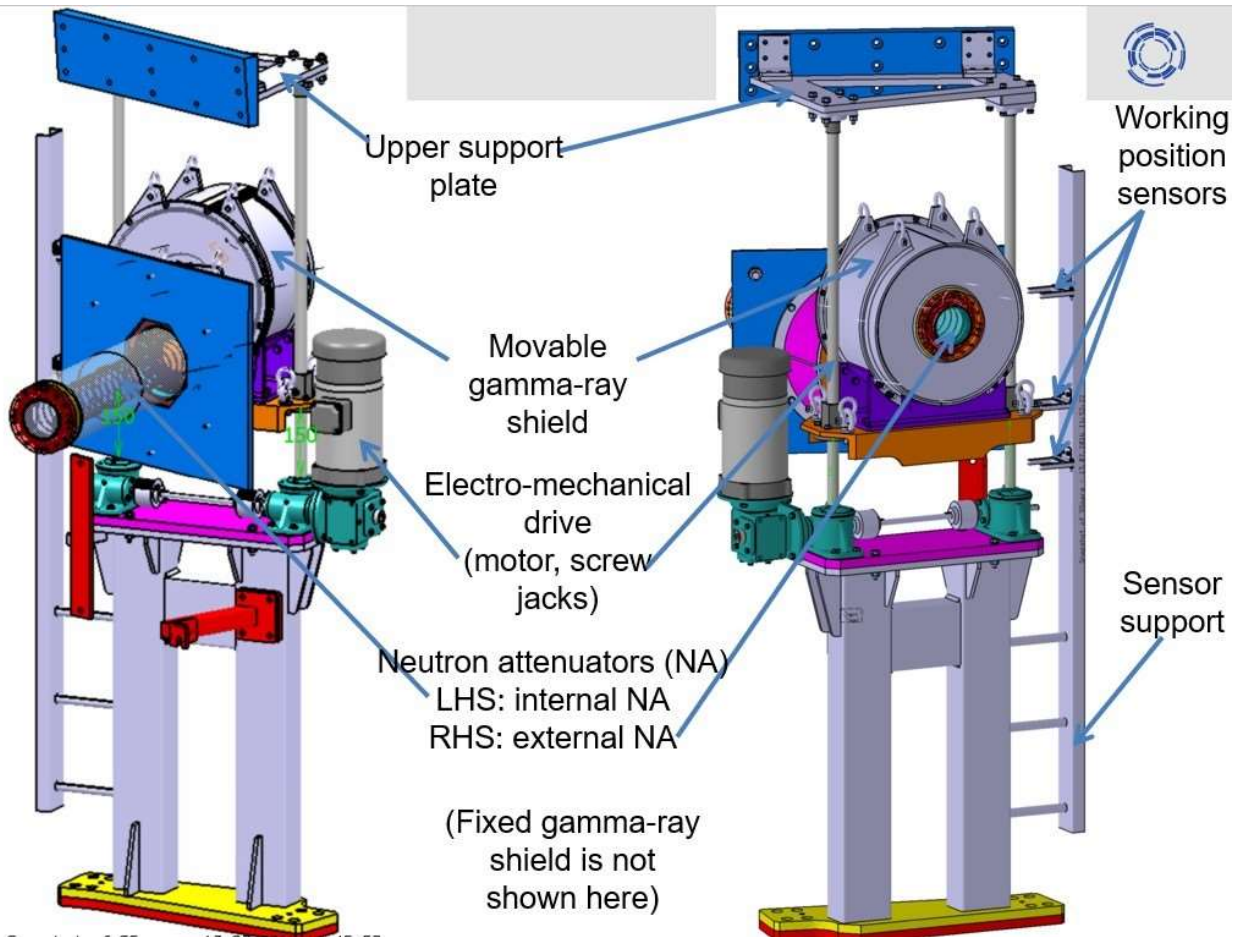
- Planului de management al proiectului

- Prototip de atenuator de neutron construit din hidrura de litiu la scara sistemului KM6T de la JET
- Solutiilor de design pentru componentele de ecranare a radiatie gama si neutronice
- Desenelor de executie a componentelor sistemului de ecranare.
- Evaluarea MCNP a campului de radaitii (neutroni si gama) pentru optimizarea performantelor sistemului.
- Realizarea atenuatorilor de neutroni. Evaluarea implicatiilor privind siguranta utilizarii atenuatorilor LiH.

Instalarea si testele preliminare ale RFCA implica indeplinirea cu success a unui set de activitati care implica individual dar si colectiv componentele RFCA. Activitati hardware si software au fost necesare pentru instalarea si testarea unitatii de control ce opereaza partea mobile a ecranului de radiatie gama si a unuia dintre atenuatorii de hidrura de litiu. Au fost efectuate teste experimentale extensive care au demonstrat ca intregul ansamblu RFCA opereaza conform proiectului.

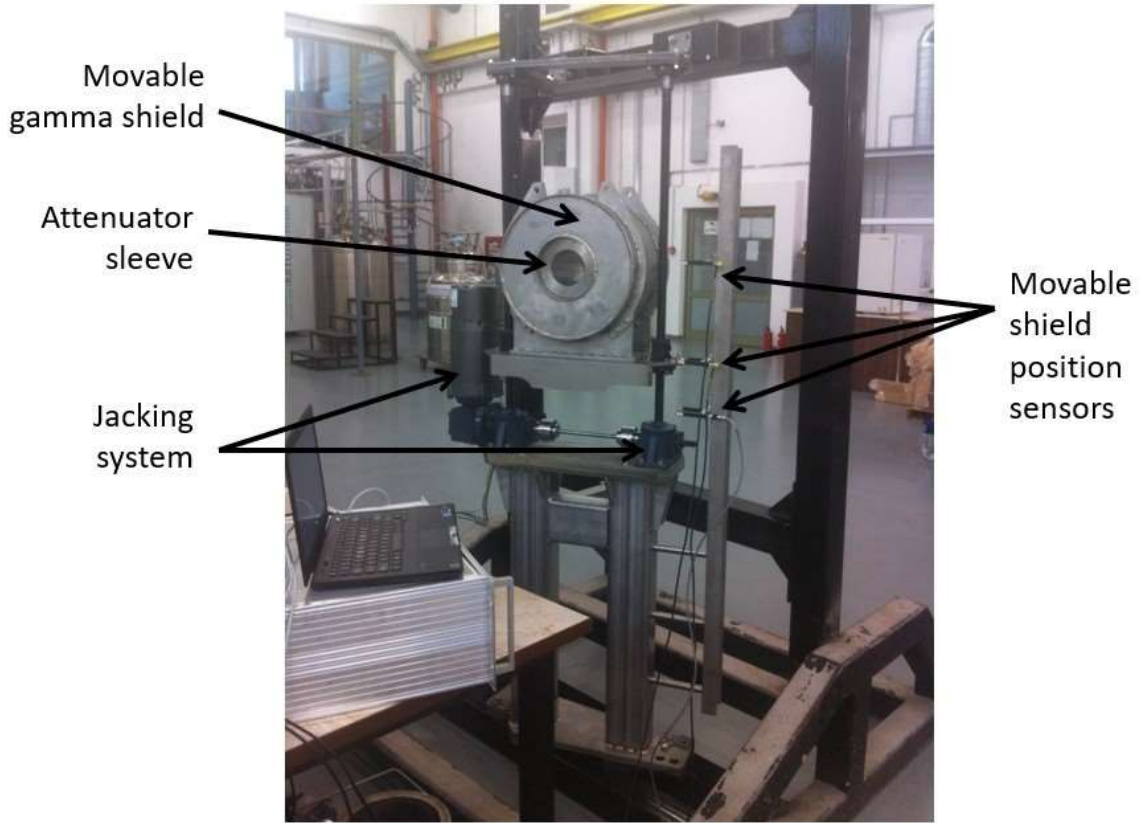


Reprezentarea schematica a spectrometrului gama tangential de la JET.

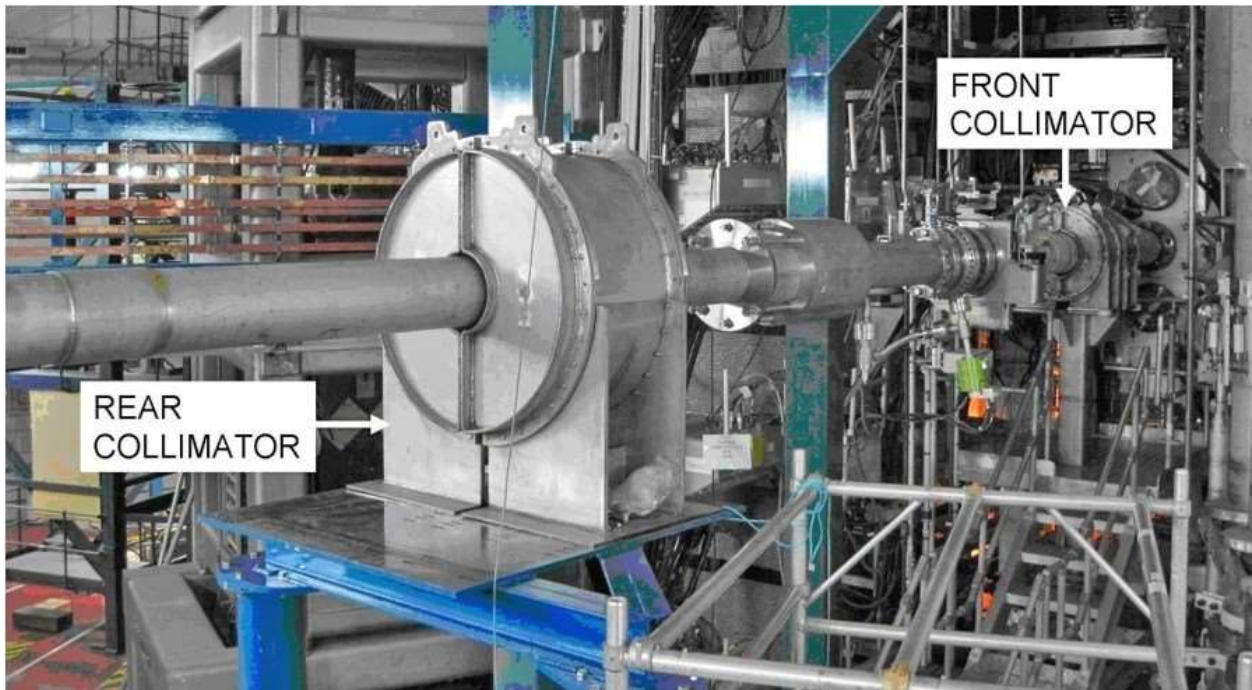


Model CATIA al componente mobile a atenuatorului de neutroni si sistemul al sistemului de actionare

Moveable gamma shield installed on test stand

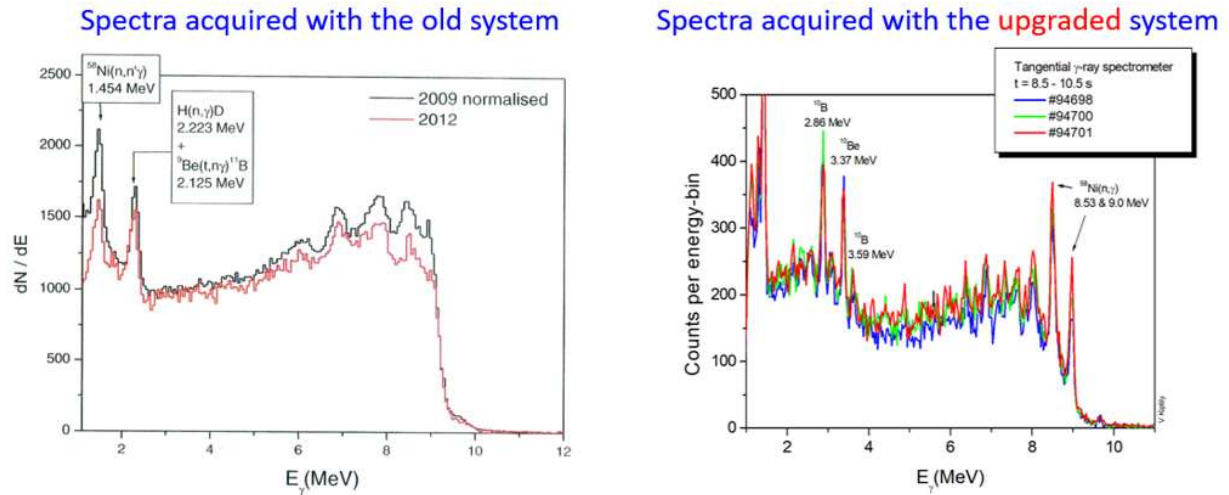


Componenta mobile a atenuatorului de neutroni pe bancul de testare



Sistemul de colimatori in tandem instalati la JET

Experimentele de comisionare a sistemului au inceput in vara anului 2019 in cadrul campaniei experimentale C38 de la JET. Succesul acestui proiect pot fi apreciate cel mai bine comparand spectrele tipice obtinute inainte si dupa upgradarea sistemului spectrometric tangential. S-a demonstrat



S-a demonstrat de asemenea posibilitatea detectarii liniei gama de 17 MeV provenita din reactia $3\text{He}(D,g)5\text{Li}$, ceea ce reprezinta o dovada clara a posibilitatii studierii particulelor alfa produse prin fuziune. S-a demonstrat astfel ca sistemul spectrometric este pregatit pentru masuratorile din campania deuterium-tritiu (DT) prevazute a avea loc la JET in 2020.

Echipele de cercetare romana asigura si coordonarea partenerilor straini in proiect: CCFE Marea Britanie, ÖAW Austria, CNR Italia, IPPLM Polonia, IST Portugalia, SFA Slovenia. Principalele activitati ale partenerilor au fost legate de: contruirea si instalarea detectorilor cu cristal de LaBr3 (CNR Italia) si respective de CeBr3 (IPPLM Polonia), constructia si instalarea sistemului de achizitie de date si cuplarea acestuia cu detectorii (IST Portugalia), dezvoltarea de metode de diagnostic sintetic (CCFE Marea Britanie si OEAW Austria) si evaluarea incertitudinilor calculului de transport ale radiatiei efectuate cu codul de calcul MCNP (FST Slovenia).

Publicatii:

Articole

[1] V.G. Kiptily, P. Beaumont, F. Belli, F.E. Cecil, S. Conroy, T. Craciunescu, M. Garcia-Munoz, M. Curuia, D. Darrow, G. Ericsson, A.M. Fernandes, L. Giacomelli, G. Gorini, A. Murari, M. Nocente, R.C. Pereira, C. Perez Von Thun, S. Popovichev, M. Riva, M. Santala, S. Soare, J. Sousa, D.B. Syme, M. Tardocchi, V.L. Zoita, I.N. Chugunov, D.B. Gin, E. Khilkevich, A.E.

Shevelev, V. Goloborod'ko, S.E. Sharapov, I. Voitsekhovitch, V. Yavorskij, Fusion Alpha-Particle Diagnostics for DT Experiments on the Joint European Torus, Fusion Reactor Diagnostics Book Series: AIP Conference Proceedings, 1612 (2014) 87-92, doi: 10.1063/1.4894029.

- [2] I Zychor , G Boltruczyk , A Burakowska , T Craciunescu , A Fernandes , J Figueiredo, L Giacomelli , G Gorini, M Gierlik , M Gosk , M Grodzicka Kobylka , J Iwanowska-Hanke, G Kaveney , V Kiptily , S Korolczuk , R Kwiatkowski , S Mianowski , M Moszynski , A Murari , M Nocente, R C Pereira, V Perseo, D Rigamonti, J Rzedkiewicz, P Sibczynski, B Santos, S Soare, A Syntfeld-Kazuch, L Swiderski, M Szawlowski, T Szczesniak, J Szewinski, A Szydłowski , M Tardocchi , A Urban, V L Zoita, High performance detectors for upgraded gamma ray diagnostics for JET DT campaigns, submitted to Physics Scripta 91-6 (2016) 064003.
- [3] A.Murari, J. Figueiredo, N. Bekris, C. Perez von Thun, P. Batistoni, D. Marocco, F. Belli, M. Tardocchi, M. García Muñoz, A. Silva, S. Soare, T. Craciunescu, M. Santala, P. Blanchard, D. Croft, Upgrades of Diagnostic Techniques and Technologies for JET next D-T Campaigns, submitted to IEEE Transaction on Nuclear Science.
- [4] Figueiredo, J., Murari, A., Perez Von Thun, C., Marocco, D., Tardocchi, M., Belli, F., García Muñoz, M., Silva, A., Soare, S., Craciunescu, T., Santala, M., Blanchard, P., Balboa, I., Hawkes, N., JET diagnostic enhancements in preparation for DT operations, (2016) 87 (11), art. no. 11D443, .
- [5] M. Curuia, T. Craciunescu, S. Soare, V.L. Zoita, V. Braic, D. Croft, A. Fernandes, J. Figueiredo, V. Goloborod'ko, G. Gorini, S. Grifh, V. Kiptily, I. Lengar, S. Mianowski, J. Naish, R. Naish, M. Nocente, R. C. Pereira, V Riccardo, K. Schoepf, B. Santos, M. Tardocchi, V. Yavorskij, I. Zychor, Upgrade of the tangential gamma-ray spectrometer beam-line for JET DT experiments, Fus. End. Design, 123, 2017, 749-753
- [6] R.Kwiatkowski, G.Boltruczyk, A.Broślawski, M.Gosk, S.Korolczuk, S.Mianowski, A.Szydłowski, A.Urban, I.Zychor, V.Braic, R.Costa Pereira, T.Craciunescu, D.Croft, M.Curuia, A.Fernandes,V.Goloborod'ko, G.Gorini, V.Kiptily, I.Lengar, J.Naish, R.Naish, M.Nocente, K.Schoepf, B.Santos, S.Soare, M.Tardocchi, V.Yavorskij, V.L.Zoita, CeBr₃-based detector for gamma-ray spectrometer upgrade at JET, Fus. End. Design, 123, 2017, 986-989.
- [7] Kiptily, V.G., Shevelev, A.E., Goloborodko, V., Kocan, M., Veshchev, E., Craciunescu, T., Khilkevitch, E.M., Lengar, I., Polunovsky, I.A., Schoepf, K., Soare, S., Yavorskij, V., Zoita, V.L., Escaping alpha-particle monitor for burning plasmas, (2018) 58 (8), art. no. 082009, .
- [8] Figueiredo, J., Murari, A., Perez Von Thun, C., Marocco, D., Tardocchi, M., Belli, F., García Muñoz, M., Silva, A., Soare, S., Craciunescu, T., Santala, M., Blanchard, P., Balboa, I.,

Hawkes, N., JET diagnostic enhancements testing and commissioning in preparation for DT scientific campaigns, *Rev. Sci. Instrum.* 89(10) (2018) 10K119

- [9] Santos, B., Fernandes, A., Pereira, R.C., Neto, A., Bielecki, J., Craciunescu, T., Figueiredo, J., Kiptily, V., Murari, A., Nocente, M., Rigamonti, D., Sousa, J., Tardocchi, M., Giacomelli, L., Zychor, I., Broslawski, A., Gosk, M., Korolczuk, S., Urban, A., Boltruczyk, G., Correia, C.M.B.A., Gonçalves, B., Control and data acquisition software upgrade for JET gamma-ray diagnostics, (2018) 128, pp. 117-121.

Conferinte

- [1] T. Craciunescu, V. Braic, R. Costa Pereira, M. Curuia, A. Fernandes, V. Goloborod'ko, G. Gorini, V. Kiptily, I. Lengar, K. Schoepf, S. Soare, Ł. Świdorski, M. Tardocchi, V. Yavorskij, V. Zoita, I. Zychor, JET Horizontal Gamma-Ray Spectrometer Upgrade for the alpha-Particle Diagnostic during the DT Campaign, 27th Meeting of the ITPA Topical Group on Diagnostics ITER Organization, 3-7 November 2014, Cadarache, France.
- [2] I Zychor , G Boltruczyk , A Burakowska , T Craciunescu , A Fernandes , J Figueiredo, L Giacomelli , G Gorini, M Gierlik , M Gosk , M Grodzicka Kobylka , J Iwanowska-Hanke, G Kaveney , V Kiptily , S Korolczuk , R Kwiatkowski , S Mianowski , M Moszynski , A Murari , M Nocente, R C Pereira, V Perseo, D Rigamonti, J Rządkiwicz, P Sibczynski, B Santos, S Soare, A Syntfeld-Kazuch, L Swiderski, M Szawlowski, T Szczesniak, J Szewinski, A Szydłowski , M Tardocchi , A Urban, V L Zoita, High performance detectors for upgraded gamma ray diagnostics for JET DT campaigns, International Conference on Research and Application of Plasmas Warsaw, Poland, September 7-11, 2015.
- [3] J. Figueiredo, A. Murari, C. Perez Von Thun, D. Marocco, M. Tardocchi, F. Belli, M. García Muñoz, A. Silva, S. Soare, T. Craciunescu, M. Santala, P. Blanchard, D. Croft, JET Diagnostic Enhancements in Preparation for DT Operations, 1st EPS conference on Plasma Diagnostics (ECPD), April 14-17, 2015, Frascati, Italy.
- [4] A.Murari, J. Figueiredo, N. Bekris, C. Perez von Thun, P. Batistoni, D. Marocco, F. Belli, M. Tardocchi, M. García Muñoz, A. Silva, S. Soare, T. Craciunescu, M. Santala, P. Blanchard, D. Croft, Upgrades of Diagnostic Techniques and Technologies for JET next D-T Campaigns, Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications, 20-24 April 2015, Lisbon Congress Center.
- [5] A. Murari, J. Figueiredo, N. Bekris, C. Perez Von Thun, P. Batistoni, D. Marocco, F. Belli, M. Tardocchi, M. Garcia Munoz, A. Silva, S. Soare, T. Craciunescu, M. Santala, P. Blanchard, D. Croft, Upgrades of Diagnostic Techniques and Technologies for JET Next D-T Campaigns, (2016) IEEE Transactions on Nuclear Science, 63 (3), art. no. 7497673, pp. 1674-1681.

- [6] M. Curuia, T. Craciunescu, S. Soare, V.L. Zoita, V. Braic, D. Croft, A. Fernandes, J. Figueiredo, V. Goloborod'ko, G. Gorini, S. Griph, V. Kiptily, I. Lengar, S. Mianowski, J. Naish, R. Naish, M. Nocente, R. C. Pereira, V. Riccardo, K. Schoepf, B. Santos, M. Tardocchi, V. Yavorskij, I. Zychor and JET contributors* EUROfusion Consortium, JET, Culham Science Centre, Abingdon, OX14 3DB, UK, Upgrade of the tangential gamma-ray spectrometer beam-line for JET DT experiments, 29th Symposium on Fusion Technology 2016, Sept. 5-9, 2016, Prague, Czech Republic.

Persoane de contact: T. Craciunescu (teddy.craciunescu@gmail.com), V. Braic (ybraic@inoe.ro)
M. Curuia (marian.curuia@icsi.ro), V. Zoita (vlzoita@dmp.plasma.ro).

Realizarea unui monitor de particule alfa (LRM)

Particulele alfa rapide au fost studiate la JET cu ajutorul unor sisteme de diagnoza ce furnizeaza informatii despre particulele confinate si pierdute ca de exemplu: sistemul KN3 (camerele de radiatie gamma) pentru studierea distributiei spatiale a surselor de radiatie gamma; sistemul KM6 (spectrometru de radiatie gamma) pentru analiza spectrometrica a radiatiei gamma emisa de plasma; sistemul matrice de cupe Faraday pentru studierea particulelor alfa; sonda de scintilatie pentru studierea ionilor rapizi.

Obiectivul principal al proiectului LRM este dezvoltarea unei noi tehnici de diagnoza a particulelor rapide inclusiv a particulelor alfa. Aceasta metoda se bazeaza pe detectarea radiatiei gamma indusa de particulele pierdute intr-o tinta aflata in afara plasmei. Obiectivele subsecvente sunt calcularea fluxului de particule alfa pe tinta, calcularea emisiei de radiatie gamma a tinteii, proiectarea tinteii, fabricarea si instalarea tinteii si elaborarea unei proceduri pentru procesarea datelor de caracterizare a plasmei. Initial a fost dezvoltat un concept simplu ce presupunea costuri reduse si se baza pe introducerea unei tinte de Be in canalul 10 al camerei de gamma. Radiatia emisa de tinta urma sa fie colimata si prelucrata cu ajutorul unui sistem sau sisteme dezvoltate sau care urmau a fi dezvoltate in cadrul unui alt proiect din WPJET 4. Curind a fost realizat faptul ca implementarea unui principiu fizic relativ simplu implica un sistem de diagnoza complex. Mai mult decat atat prezenta unei cantitati mari de carbon (caramizile divertorului - CFC) complica si mai mult decelarea radiatiei gamma emisa de tinta din fondul intens al radiatiei gamma emisa de carbonul supus actiunii neutronilor rapizi. Linia radiatiei gamma emisa de carbon in aceste conditii are aceeasi energie ca cea emisa de tinta de beriliu.

In faza de elaborare a studiului de fezabilitate au fost prezentate detaliat citeva solutii dezvoltate si evaluate pentru monitorul de particule alfa. Au fost analizate 2 locatii: camera de radiatie gamma orizontala KN3 (octantul 1 al reactorului JET) si camera de raze X KJ5 (octantul 5). Pentru prima locatie au fost dezvoltate doua solutii de concept, iar pentru locatiea a 2-a s-au dezvoltat patru solutii de concept. Unul dintre conceptele propuse pentru locatiea KJ5 a fost dezvoltat suficient de mult

astfel incat s-a constatat ca era necesar un buget de citeva ori mai mare decit cel alocat intregului proiect. De asemenea s-au realizat calculele necesare proiectarii iar rezultatul lor a avut un impact direct asupra proiectarii diagnosticii.

Perioada de desfasurare: 2014-2016

Obiective:

Obiectivul principal al proiectului LRM este dezvoltarea unei noi tehnici de diagnoza a particulelor rapide inclusiv a particulelor alfa. Aceasta metoda se bazeaza pe detectarea radiatiei gamma indusa de particulele pierdute intr-o tinta aflata in afara plasmei.

Obiectivele subsecvente sunt calcularea fluxului de particule alfa pe tinta, calcularea emisiei de radiatie gamma a tinte, proiectarea tinte, fabricarea si instalarea tinte si elaborarea unei proceduri pentru procesarea datelor de caracterizare a plasmei.

Etape si activitatiile prevazute:

- Elaborare Planului de Management al Proiectului Lost Alpha Particles Monitor
- Studiu de fezabilitate si Proiect conceptual pentru Monitorul de particule alfa
- Realizare de simulari MCNP pentru evaluare campurilor de vizare

Parteneri externi:

- CCFE Marea Britanie
- ÖAW Austria
- IPPLM Polonia
- IST Portugalia
- SFA Slovenia.

Rezultate obtinute:

Propunerea initial a proiectului se baza pe un concept simplu ce presupunea costuri reduse si se baza pe introducerea unei tinte de Be in canalul 10 al camerei de gamma. Radiatia emisa de tinta urma sa fie colimata si prelucrata cu ajutorul unui sistem sau sisteme dezvoltate sau care urmau a fi dezvoltate in cadrul unui alt proiect din WPJET 4. Curind a fost realizat faptul ca implementarea acestui concept fizic relativ simplu implica un sistem de diagnoza complex. Mai mult decit atat prezenta unei cantitati mari de carbon (caramizile divertorului - CFC) complica si mai mult decelarea radiatiei gamma emisa de tinta din fondul intens al radiatiei gamma emise de carbonul supus actiunii neutronilor rapizi. Linia radiatiei gamma emisa de carbon in aceste conditii are aceeasi energie ca cea emisa de tinta de beriliu. In faza I de elaborare a studiului de fezabilitate au fost prezentate detaliat citeva solutii dezvoltate si evaluate pentru monitorul de particule alfa. Au fost analizate 2 locatii: camera de radiatie gamma orizontala KN3 (octantul 1 al reactorului JET) si camera de raze X KJ5 (octantul 5). Pentru prima locatie au fost dezvoltate doua solutii de concept, iar pentru locatia a 2-a s-au dezvoltat patru solutii de concept. Tot in faza I s-au realizat calcule MCNP cu impact direct asupra proiectarii monitorului de particule alfa si al diagnosticii KA4. Printre altele s-a aratat faptul ca

raportul dintre radiatia gamma parazita emisa de placile de CFC prinse in cimpul de vizare al detectorului si radiatia gama emisa de tinta este de peste 10.

Publicatii:

Conferinte

[1] V.G. Kiptily, T. Craciunescu, M. Curuia, S. Soare, V.L. Zoita, et al., Diagnostics for alpha-particle studies in JET Deuterium-Tritium Experiments, ITPA Diagnostics Topical Group, General Atomics, San Diego, USA, June 4th 7th, 2013

[2] V.G. Kiptily, T. Craciunescu, M. Curuia, S. Soare, V.L. Zoita, et al., On gamma-ray & HXR spectrometry for plasma control in fusion reactors, 21st European Fusion Physics Workshop, 9-11 December 2013, Sørup Herregaard, Ringsted, Denmark

[3] Vasily Kiptily, Sorin Soare, Vasile (Liviu) Zoita, Teddy Craciunescu, Marian Curuia, Rita Costa Pereira, Ana Fernandes, Klaus Schoepf, Victor Yavorskij, Victor Goloborod'ko, Izabella Zychor, Lukasz Swoderski, Igor Lengsr, Lost Alpha-Particle Gamma-Ray Monitor for the JET DT Campaign, 27th Meeting of the ITPA Topical Group On Diagnostics, ITER Organization, Cadarache, France, 3-7 November 2014

[4] V.G. Kiptily, T. Craciunescu, M. Curuia, S. Soare, V.L. Zoita et al., On alpha-particle diagnostics for JET DT experiments, Fast Ion Topic Group meeting, Culham, Abingdon, UK, 20th March 2015

Persoane de contact:

Sorin Soare (sorin.soare@icsi.ro), V. Zoita (vlzoita@dmp.plasma.ro)

Metode de evaluare a erorilor si artefactelor in tomografia de emisie gama/neutron/HXR de la JET

Tomografia de emisie un este instrument utilizat in diagnostica plasmei de la JET, pentru determinarea distributiei bi-dimensionale a emisivitatii gamma, neutronice sau de raze X. In vederea utilizarii ei in viitoarea campanie experimentala deuteriu-tritiu (DT) de la JET sunt necesare o serie de dezvoltari specifice. Scopul acestui proiect consta in dezvoltarea unor metode cheie pentru tomografia de emisie gama si bolometrie.

Tomografia de emisie gama furnizeaza informatii extrem de utile pentru studiile de fizica ionilor rapizi. Masuratorile se realizeaza cu ajutorul a doua seturi de detectori si colimatori care asigura doua vederi in planul poloidal. Datorita existentei a doar doua vederi problema tomografica este una prost pusa din punct de vedere matematic cu un ridicat grad de nedeterminare. Diferite metode de reconstructie au fost propuse pentru rezolvarea ei. Pe parcursul campaniei experimentale DT se vor putea face insa masuratori doar utilizand unul din cele doua seturi de detectori, pentru care se pot instala atenuatori ce permit diminuarea fluxului neutronic intens. In acest caz o reconstructie tomografica explicita nu mai este posibila. Totusi, utilizand tehnici de invatare si clasificare automata

este posibilă determinarea tipului distribuției. Aceasta, împreună cu o anumită parametrizare a formei distribuției, vor putea permite determinarea unei bune aproximații a reconstrucției. În cadrul acestui proiect propunem dezvoltarea unui set de clasificatori, cu învățare supravegheată sau bazată pe clusterizare automată pentru rezolvarea acestei probleme. Pentru obținerea unui grad ridicat de precizie la clasificare se vor dezvolta metode de fuziune a informației furnizate de clasificatorii individuali pe baza formalismului funcțiilor de încredere și predictorilor conformi.

Bolometria este utilizată extensiv la JET pentru determinarea pierderilor radiative în plasma în zona divertorului. Problema evaluării erorilor ce însoțesc reconstrucțiile în bolometria JET, esențială pentru tomografia cantitativă, rămâne însă o problemă deschisă. O evaluare de precizie a propagării incertitudinilor statistice ce însoțesc datele experimentale la nivelul imaginilor reconstruite este necesară. Recent am dezvoltat o abordare analitică pentru evaluarea proprietăților statistice ale zgomotului ce însoțesc reconstrucțiile în tomografia de emisie gamma și neutronică. Ne propunem dezvoltarea unei astfel de metode și pentru bolometrie. Dezvoltarea se va baza pe o metodă de reconstrucție ce utilizează principiul statistic al verosimilității maxime. Implementarea acestor metode de reconstrucție pentru bolometrie va oferi o alternativă la metoda tomografică implementată în prezent.

Perioada de desfășurare: 2014-2016

Obiective:

- Dezvoltarea unei metode de reconstrucție tomografică pentru bolometrie bazată pe principiul statistic al verosimilității maxime (maximum likelihood – ML) pentru bolometrie.
- Dezvoltarea unei metodologii de evaluare numerică a proprietăților statistice a zgomotului care caracterizează reconstrucțiile în bolometria JET
- Validarea metodei de reconstrucție ML pe date experimentale de la bolometrul JET
- Dezvoltarea metodelor de evaluare a incertitudinilor statistice ce afectează reconstrucțiile în bolometria JET

Parteneri externi:

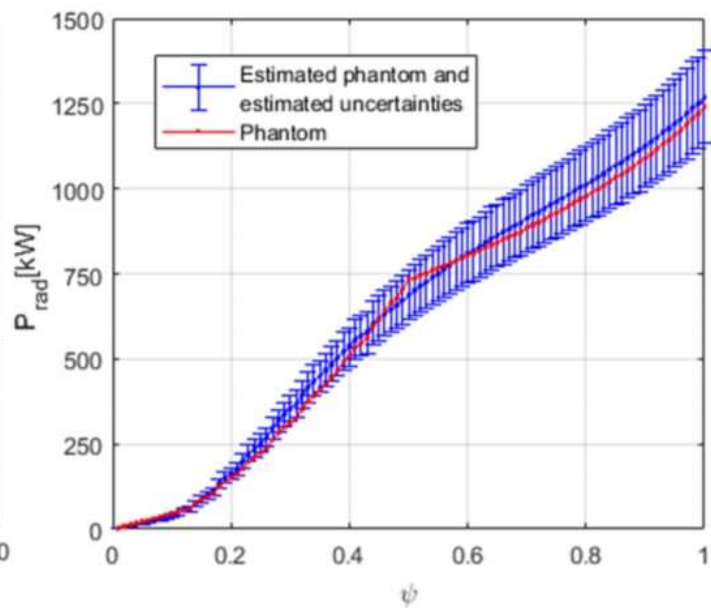
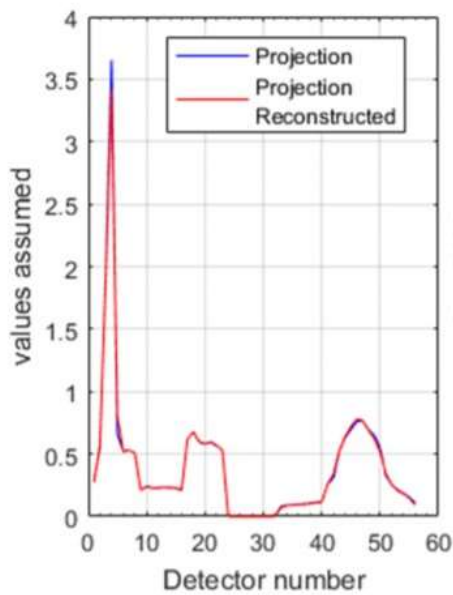
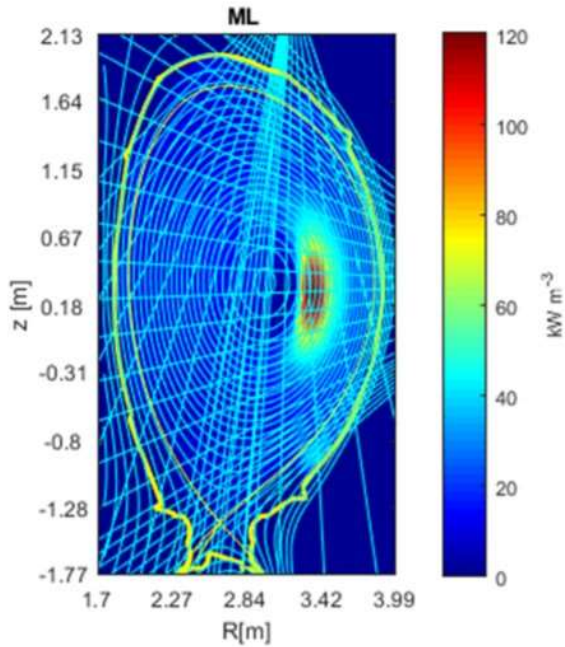
- Consortio RFX, Italia
- CCFE Marea Britanie

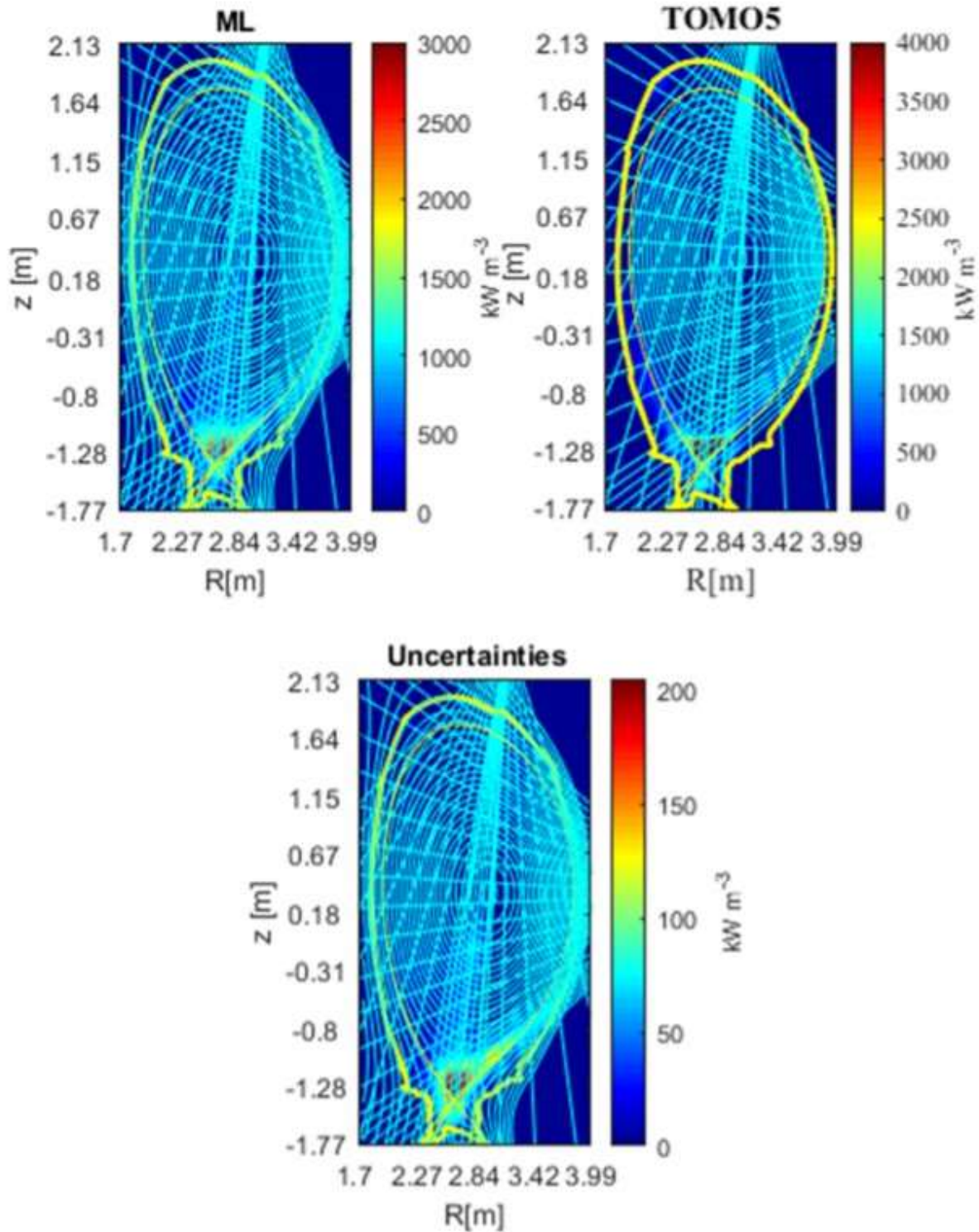
Rezultate obținute:

Tomografia de emisie este un instrument utilizat în diagnostică plasmei de la JET, pentru determinarea distribuției bi-dimensionale a emisivității gamma, neutronice sau de raze X. În vederea utilizării ei în viitoarea campanie experimentală deuteriu-tritiu (DT) de la JET sunt necesare o serie de dezvoltări specifice. Bolometria este utilizată extensiv la JET pentru determinarea pierderilor radiative în plasma în zona divertorului. Problema evaluării erorilor ce însoțesc reconstrucțiile în bolometria JET, esențială pentru tomografia cantitativă, rămâne însă o problemă deschisă. O

evaluare de precizie a propagării incertitudinilor statistice ce însoțesc datele experimentale la nivelul imaginilor reconstruite este necesară.

Metoda tomografică bazată pe principiul statistic al similitudinii maxime, utilizată de noi cu succes în diagnostic tomografică de neutron și gamma de la JET a fost folosită pentru dezvoltarea unei metode de reconstrucție bolometrică la JET. Teste efectuate pe distribuții simulate numeric, modelând distribuții tipice la instalația tokamak JET au arătat că metoda furnizează reconstrucții de bună calitate cu înaltă rezoluție.





Am dezvoltat de asemenea o abordare analitica pentru evaluarea proprietatilor statistice ale zgomotului ce insotesc reconstructiile in tomografia de emisie gama si neutronica. Ne propunem dezvoltarea unei astfel de metode si pentru bolometrie. Dezvoltarea se va baza pe o metoda de

reconstructie ce utilizeaza principiul statistic al verosimilatati maxime. Implementarera acestei metode de reconstructie pentru blometrie va oferi o alternativa la metoda tomografica implementata in prezent.

Publicatii:

Articole

- [1] Craciunescu, T., Peluso, E., Murari, A., Gelfusa, M., *Maximum likelihood bolometric tomography for the determination of the uncertainties in the radiation emission on JET TOKAMAK*, *Review of Scientific Instruments*, 89 (5), art. no. 053504. Mlynar, J., Craciunescu, T., Ferreira, D.R. et al. *J Fusion Energ* (2018). <https://doi.org/10.1007/s10894-018-0178-x>.
- [2] Craciunescu, T., Murari, A., Kiptily, V., Lupelli, I., Fernandes, A., Sharapov, S., Tiseanu, I., Zoita, V., *Evaluation of reconstruction errors and identification of artefacts for JET gamma and neutron tomography*, (2016) 87 (1), art. no. 013502, .
- [3] Sharapov, S.E., Hellsten, T., Kiptily, V.G., Craciunescu, T., Eriksson, J., Fitzgerald, M., Girardo, J.-B., Goloborod'Ko, V., Hellesen, C., Hjalmarsson, A., Johnson, T., Kazakov, Y., Koskela, T., Mantsinen, M., Monakhov, I., Nabais, F., Nocente, M., Perez Von Thun, C., Rimini, F., Santala, M., Schneider, M., Tardocchi, M., Tsalas, M., Yavorskij, V., Zoita, V., *Fusion product studies via fast ion D-D and D-3He fusion on JET*, (2016) 56 (11), art. no. 112021, . [2] Sharapov, S.E., Hellsten, T., Kiptily, V.G., Craciunescu, T., Eriksson, J., Fitzgerald, M., Girardo, J.-B., Goloborod'Ko, V., Hellesen, C., Hjalmarsson, A., Johnson, T., Kazakov, Y., Koskela, T., Mantsinen, M., Monakhov, I., Nabais, F., Nocente, M., Perez Von Thun, C., Rimini, F., Santala, M., Schneider, M., Tardocchi, M., Tsalas, M., Yavorskij, V., Zoita, V., *Fusion product studies via fast ion D-D and D-3He fusion on JET*, (2016) 56 (11), art. no. 112021, .
- [4] Craciunescu, T., Murari, A., Kiptily, V., Vega, J., *Classification of JET neutron and gamma emissivity profiles*, *JINST* (2016) 11 (5), art. no. C05021.
- [5] T. Craciunescu, A. Murari, V. Kiptily, I. Lupelli, A. Fernandes, S. Sharapov, I. Tiseanu, V. Zoita, *Evaluation of reconstruction errors and identification of artefacts for JET gamma and neutron tomography*, *Rev. Sci. Instrum.* 87, 013502 (2016).
- [6] Bielecki, J., Giacomelli, L., Kiptily, V., Scholz, M., Drozdowicz, K., Conroy, S., Craciunescu, T., Kempenaars, M., *Phillips-Tikhonov regularization with a priori information for neutron emission tomographic reconstruction on Joint European Torus*, (2015) *Review of Scientific Instruments*, 86 (9), art. no. 093505.
- [7] Craciunescu, T., Peluso, E., Murari, A., Gelfusa, M., *Maximum likelihood bolometric tomography for the determination of the uncertainties in the radiation emission on JET TOKAMAK*, *Rev. Sci. Instrum.* (2018) 89 (5), art. no. 053504, .

[8] Mlynar, J., Craciunescu, T., Ferreira, D.R., Carvalho, P., Ficker, O., Grover, O., Imrisek, M., Svoboda, J., *Current Research into Applications of Tomography for Fusion Diagnostics*, *J Fusion Energ* (2018). <https://doi.org/10.1007/s10894-018-0178-x>.

Conferinte

[9] T. Craciunescu, E. Peluso, A. Murari, M. Gelfusa, *A New Approach to Bolometric Tomography in Tokamaks*, *2018 International Symposium on Circuits and Systems*, 27-30 May, Florence, Italy

[10] *Gamma-ray Imaging of Fusion Plasmas*, *ICFDT5 - 5th International Conference on Frontier in Diagnostic Technologies*, 3-5 October 2018, Frascati, Italy.

[11] E. Peluso, T. Craciunescu, A. Murari, P. Carvalho, M. Gelfusa, *Maximum Likelihood Tomographic Method for the Analysis of Bolometric Measurements on JET*, *30th edition of the Symposium on Fusion Technology (SOFT 2018)*, 16-21 Sept 2018, Giardini-Naxos, Italy.

[12] Yu.V. Yakovenko, V.V. Lutsenko, B.S. Lepiavko, Ya.I. Kolesnichenko, V. Kiptily, L. Giacomelli, T. Craciunescu, H. Weisen, *Simulations of the Sawtooth-Induced Redistribution of Fast Ions in JET and ITER*, *IAEA - 27th IAEA Fusion Energy Conference*, 22-27 Oct. 2018, Ahmedabad, India

[13] I. Lupelli, L.C. Appel, R. Akers, F. Maviglia, G. Artaserse, M. Gelfusa, A. Murari, N.C. Hawkes, H-T. Kim, V. Kiptily, T. Craciunescu, *The EFIT++ equilibrium code: recent upgrades and applications to air-core and iron-core machines*, *1st EPS conference on Plasma Diagnostics (ECPD)*, April 14-17, 2015, Frascati, Italy