

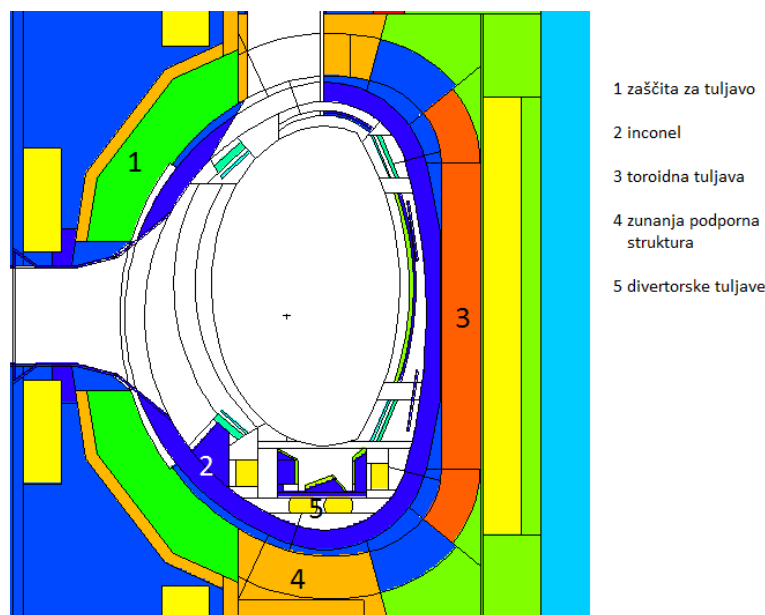
## Generacija promptnih in zakasnelih žarkov gama v fuzijskem reaktorju Joint European Torus (JET)

...

Dijana Makivić

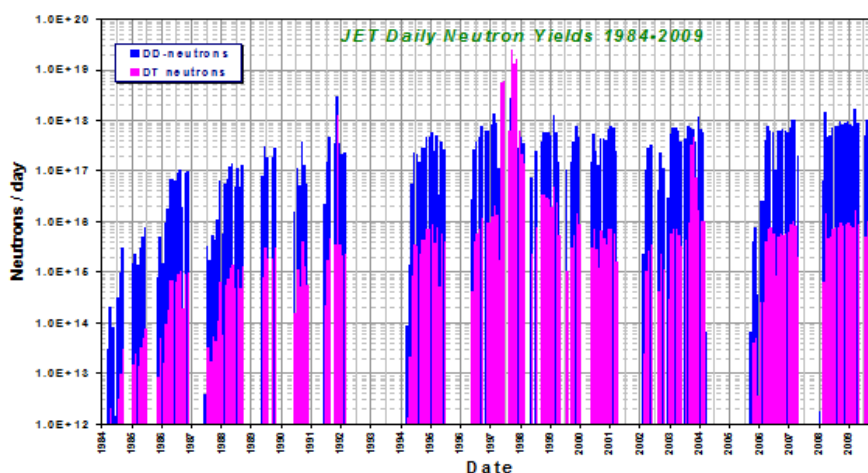
Varno obratovanje fuzijskih reaktorjev je izjemno pomembno, zato je potrebno poznavanje radioloških poškodb materialov. Ravno tako je potrebno zagotoviti varnost pri procesih popravil in vzdrževanj, saj je potrebno zagotoviti dovolj majhne doze na določenih mestih. Nevtroni, ki nastanejo pri fuzijski reakciji, ob interakciji s komponentami reaktorja povzročijo aktivacijo materialov, kjer nastanejo promptni in zakasneli žarki gama. Potrebno je določiti, v katerih komponentah nastajajo promptni in zakasneli žarki gama ter kolikšen je njihov delež in prispevek k dozi. Ravno tako je potrebno izračunati delež promptnih in zakasnelih žarkov gama v določenih točkah reaktorja. Pri izračunih se bo uporabljal 3D MCNP 45° model Octant 1, ki so ga razvili na JET-u (Petrizzi in sod., 2006).

Z MCNP izračuni lahko določimo deleže nastalih žarkov gama v komponentah fuzijskega reaktorja, prikazanih na sliki 8.1. Najvišji delež žarkov gama, in sicer 35 %, nastane v zaščiti za tuljavo, 30 % v inconelu in 15 % v toroidni tuljavi. Manjši delež gama nastane v zunanji podporni strukturi, 6 %, in v divertorskih tuljavah, 5 %. Posamezen delež gama v ostalih komponentah je manjši kot 2 %.



Slika 8.1: Komponente fuzijskega reaktorja v modelu Octant 1 (Petrizzi in sod., 2006), kjer nastane največji delež žarkov gama.

Za izračun generacije in energijskega spektra promptnih žarkov gama v določenih komponentah ali točkah fuzijskega reaktorja je potrebno izboljšati izračun MCNP z redukcijo



Slika 8.2: Število nevtronov za D-D in D-T plazmo v časovnih obdobjih obratovanja fuzijskega reaktorja JET.

variance. Promptni žarki gama nastajajo v plazmi, od koder se transportirajo naprej skozi komponente tokamaka, ter pri interakciji nevtronov s snovjo. V fuzijskem reaktorju JET imajo D-D in D-T plazmo, zato simuliramo vsako posebej, saj imata različen nevtronski izvor v simulacijah MCNP.

Pri interakciji nevtronov s snovjo nastanejo kratkoživi in dolgoživi radioaktivni nuklidi, ki razpadajo v stabilna stanja z razpadno konstanto  $\lambda$ , pri čemer nastajajo zakasneli žarki gama. Zakasnele žarke gama računamo s programom FISPACT. Energijske spektre fluksa nevtronov in gama za določene komponente, ki jih dobimo iz MCNP simulacij, vnesemo v FISPACT program in izračunamo energijske spektre in časovne grupe zakasnelih žarkov gama ter aktivnost in prispevke k dozi za materiale, ki generirajo visok delež zakasnelih žarkov gama v fuzijskem reaktorju. Upoštevati moramo zgodovino obratovanja fuzijskega reaktorja JET, ki nam poda število nevtronov v določenem časovnem obdobju za D-D in D-T plazmo, kot prikazuje slika 8.2.

Za izračun doz v določenih točkah reaktorja ali v točkah zunaj reaktorja moramo upoštevati transport vseh delcev tudi zakasnelih žarkov gama skozi celice v modelu reaktorja, kar pomeni, da je potrebno sklopiti programa MCNP in FISPACT, kjer bi MCNP računal transport delcev ter FISPACT nastanek zakasnelih žarkov gama v celici. Inštituti, kot so Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Culham Centre for Fusion Energy (CCFE) in Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), so razvili programe, ki sklapljajo MCNP in FISPACT, kar je tudi v interesu inštituta IJS. Za izračun zakasnelih gama žarkov bi testirali tudi novo verzijo MCNP programa MCNP6, ki vsebuje kartico ACT, ki omogoča izračun zakasnelih žarkov gama, kjer določimo energijske in časovne grupe. Izračunane doze je potrebno primerjati tudi z že izmerjenimi dozami na reaktorju JET.

...

## Literatura

Petrizzi, L., Angelone, M., Batistoni, P., Fischer, U., Loughlin, M. & Villari, R. (2006). Benchmarking of Monte Carlo based shutdown dose rate calculations applied in fusion technology: From the past experience a future proposal for JET 2005 operation. *Fusion Engineering and Design*, 81(8–14), 1417–1423. Proceedings of the Seventh

International Symposium on Fusion Nuclear Technology ISFNT-7 Part B Proceedins  
of the Seventh International Symposium on Fusion Nuclear Technology. doi:10.1016/  
j.fusengdes.2005.10.014