

MCNP model uparjalnika in aktivacija primarnega hladila v NEK

. . .

Andrej Žohar

V reaktorski posodi se zaradi fluksa nevtronov aktivira hladilna voda, ki se zaradi toka vode prenese izven reaktorske posode. Zaradi tega je aktivirana hladilna voda eden izmed največjih povzročiteljev povečanega sevanja izven reaktorske posode. Moj namen je simulirati, koliko sevanja doprinese ta pojav delavcem, ki morajo vstopiti v zadrževalni hram med obratovanjem reaktorja. Določil bom tudi katera območja so sevalno najbolj obremenjena. To bo pomagalo narediti zaščito, ki bi varovala delavce.

Za program MCNP ([Goorley in sod., 2012](#)), s katerim bom izvajal simulacijo, sem naredil podrobni model uparjalnika NEK. Elemente uparjalnika sem opisal z geometrijskimi liki. Pri modelu sem naredil nekaj poenostavitve elementov; kot primer tega so rešetke, ki preprečujejo trke cevi U med seboj, primarni izločevalniki vlage in zaokroženi del cevi U. Posledično sem s praviimi gostotami materialov z modelom dosegel 3 % odstopanje od dejanske mase.

V modelu sem uporabil tudi veliko mrežo (*angl.* lattice). Uporabil sem kvadratne in heksagonalne mreže. Heksagonalne mreže sem uporabil pri ceveh U in primarnih izločevalnikih vlage. Ravni del cevi U zavzema največ kode, saj sem naredil mreže približno 9 cm debelih plasti in napolnil 10 m veliko strukturo. Razlog, da sem naredil to, je v tem, da sem na približni vsak 1 m postavil 9 cm visoke rešetke za cevi U. Rešetke sem poenostavil tako, da sem kvadratno mrežo spremenil v heksagonalno. Pri tem sem pazil da se ohranja masa sistema. To sem dosegel s pravo debelino rešetak. Heksagonalno mrežo sem uporabil tudi pri zaokroženem delu cevi U. Zaokroženi del sem razdelil na štiri dele in v vsakem delu uporabil mrežo. Pri primarnih izločevalnikih vlage sem tudi uporabil heksagonalno mrežo, da sem naredil samo en izločevalnik in ga s mrežo prenesel v vseh 48 pozicij, na katerih so izločevalniki. Kvadratno mrežo pa sem uporabil pri sekundarnem izločevalniku vlage. Z mrežo sem naredil odprtine, skozi katere potuje para.

Naredil sem tudi analizo aktivacije vode v reaktorski posodi. To sem naredil

s simulacijo Monte Carlo (MCNP 6.1). Vodo v reaktorski posodi sem razdelil na štiri območja:

- voda med steno reaktorske posode in plaščem sredice,
- voda pod gorivnimi elementi,
- voda med gorivnimi elementi,
- voda nad gorivnimi elementi

in eno območje zunaj reaktorske posode. Razlog za takšno odločitev je v tem, da imajo predstavljena območja nevtronske spektre, ki se močno razlikujejo med seboj. Območje zunaj reaktorske posode je potrebno vključiti v analizo, saj je čas zunaj reaktorske posode, T , približnega reda razpolovnega časa ali pa krajši in se zato nekaj aktivirane vode vrne nazaj v reaktorsko posodo. V vsakem od območij sem s pomočjo simulacije Monte Carlo izračunal reakcijsko hitrost za reakcije $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $^{17}\text{O}(n,p)^{17}\text{N}$ in $^{18}\text{O}(n,\gamma)^{19}\text{O}$. S pomočjo sistema enačb

$$\begin{aligned}
 A_1 &= A_5 e^{-\lambda t_{e1}} + F_1(1 - e^{-\lambda t_{e1}}) \\
 A_2 &= A_1 e^{-\lambda t_{e2}} + F_2(1 - e^{-\lambda t_{e2}}) \\
 A_3 &= A_2 e^{-\lambda t_{e3}} + F_3(1 - e^{-\lambda t_{e3}}) \\
 A_4 &= A_3 e^{-\lambda t_{e4}} + F_4(1 - e^{-\lambda t_{e4}}) \\
 A_5 &= A_4 e^{-\lambda T},
 \end{aligned}
 \tag{14.1}$$

lahko izračunamo aktivnost na koncu posameznih območij. V sistemu oznaka A_i predstavlja aktivnost na izstopu iz območja, t_{ei} predstavlja čas obsevanja in F_i predstavlja reakcijsko hitrost območja i . Tako sem poleg celotne saturacijske vrednosti aktivnosti na izstopu iz reaktorske posode, A_4 , analiziral tudi prispevke posameznih območij h končni saturacijski vrednosti. Rezultate celotne saturacijske vrednosti prikazuje tabela 14.1.

Tabela 14.1: Tabela aktivnosti produktov na izstopu iz reaktorske posode.

Aktivacijski produkt	Aktivnost [Bq/l]
^{16}N	$1,92 \cdot 10^9 \pm 2,5 \cdot 10^7$
^{17}N	$4,21 \cdot 10^5 \pm 6,23 \cdot 10^3$
^{19}O	$2,66 \cdot 10^7 \pm 3,72 \cdot 10^5$

V nadaljevanju bom s pomočjo izračunane aktivnosti določil izvore v prej opisanem uparjalniku in z metodo Monte Carlo izračunal dozno polje žarkov gama, ki so posledica radioaktivnega razpada ^{16}N in ^{19}O in dozno polje nevtronov, ki so posledica radioaktivnega razpada ^{17}N .

Literatura

Goorley, John T., Michael R. James in sod. (2012). »[Initial MCNP6 Release Overview](#)«. V: *Nuclear Technology* 180.3, str. 298–315.