

Nada MARINKOVIĆ
 Institut "Boris Kidrič",
 Vinča

SAOPŠTENJE

PRORAČUN AKTIVNOSTI FISIONIH PRODUKATA U
 JEZGRU TERMALNOG ENERGETSKOG REAKTORA

SADRŽAJ U okviru analize radioloških posledica akcidenta LWR reaktora izvršen je proračun aktivnosti najvažnijih radioaktivnih produkata i koncentracije stabilnih gasova produkata fisije u jezgru PWR reaktora. Proračun je izvršen programom DELFIN korišćenjem ranije dobijenih podataka za efikasne preseke i neutronske flukse iz programa METHUSELAH za proračun izgaranja u ćeliji. Poređenje sa proračunom na osnovu aproksimativne formule pokazuje da ova nije pouzdana u slučaju nekih težih nuklida, ali se može smatrati da je tačnost dovoljna za korišćenje u sigurnosnoj analizi kada se zna za nepreciznost u proračunu prenosa fisionih produkata.

ABSTRACT As a part of the analysis concerning radiological consequences of a major LWR accident, inventories of the most significant radioactive nuclides and stable fission gases in the core of a PWR type reactor have been calculated. Calculations were performed by the DELFIN code using nuclide data and neutron flux data earlier obtained by the METHUSELAH code. Comparison with simplified calculation method show that it is quite rough for certain nuclides but the accuracy may be sufficient for safety analysis purposes recalling the inaccuracies in the later parts of fission product transport process.

1. UVOD

U okviru analize radioaktivnih posledica akcidenta lakovodnih reaktora izvršen je proračun aktivnosti najvažnijih radioaktivnih produkata (nuklida sa velikim prinosom i dugim poluživotom): ksenona, kriptonu, stroncijuma, rutenijuma, telura i cezijuma. Proračun aktivnosti ovih nuklida omogućava dalju analizu transporta fisionih produkata koja se sastoji iz sledećih koraka:

- Procena oslobodjene frakcije fisionih produkata iz goriva u toku normalnog rada reaktora i akcidenta,
- Proračun broja gorivnih elemenata koji prskaju u toku akcidenta.
- Procena količine fisionih produkata koji se oslobode iz naprslih

gorivnih elemenata i prenose se u primarno kolo i containment.

- Procena aktivnosti oslobodjene iz containment-a.
- Predviđanja ponašanja fisisonih produkata u atmosferi, zemlji i ekosistemima.

2. METOD PRORAČUNA I OSNOVNI PODACI

Proračun aktivnosti radioaktivnih fisisonih produkata i koncentracija gasova produkata fisije izvršen je programom DELFIN/1/. Program omogućava četvorogrupalni proračun promene izotopskog sastava nuklida u jezgru termalnog nuklearnog reaktora. Koristi pretpostavku da se vi lanci radioaktivnih nuklida mogu svesti na linearne i omogućava izlaz na magnetsku traku što obezbedjuje mogućnost da se jednostavno veže za neki program izgaranja u jezgru reaktora.

Ulazni podaci koje program zahteva su pouzdane vrednosti efikasnih preseka i neutronskog fluksa. U primeru koji je pokazan u ovom radu korišćeni su podaci dobijeni ranije na osnovu programa METHUSELAH za proračun izgaranja u ćeliji WWER-440 reaktora /5/. Proračun je vršen za linearne lance Kr^{83} , Sr^{89} , Ru^{102} , Ru^{106} , I^{131} i Cs^{137} .

3. REZULTATI ZA WWER-440 JEZGRO

Prilikom proračuna tretirano je 3.6% obogaćeno gorivo. Gustina snage u gorivu bila je 300 MW/m^3 što odgovara jezgru ukupne snage 1375 MWt. Proračun je vršen za period od 50 dana do 1250 dana što odgovara izgaranju od oko 36 Mwd/kg goriva. Prilikom korišćenja ovako dobijenih rezultata mora se imati na umu sledeće:

- Količina stabilnih nuklida zavisi samo od izgaranja. Nivo snage utiče znatno samo na lance u kojima se javljaju jaki apsorberi neutrona. Za nuklide koji su razmatrani proces apsorpcije važan je samo za radioaktivni Xe^{135} . Oko 70% Xe^{135} prelazi u Xe^{136} pri prosečnoj vrednosti fluksa. Doprinos ovog procesa stvaranju Xe^{136} iznosi oko 20%.
- Količina kratkoživećih nuklida zavisi pretežno od trenutnog nivoa snage jer se ravnoteža stvaranje-raspad postiže posle samo nekoliko poluživota.
- Količina nuklida srednjih vrednosti poluživota zavisi od prethodne istorije goriva. Najbolji primeri ovakvih nuklida su Sr^{89} (50.5d), Ru^{103} (40d) i Ru^{106} (369d). Ako se reaktor koristi tako da su mogući periodi niske snage dužine jednog dana, uzimaju se u obzir i nuk-

lidi kao I^{131} (8.1d) i Xe^{133} (5.3d). Nuklid se mora uvrstiti u ovu kategoriju ako je njegov poluživot istog reda veličine kao što su periodi promene snage reaktora.

Ovde je razmatrana situacija neprekidnog rada reaktora.

Rezultati su pokazani na slikama od 1. do 4. Za sigurnosnu analizu važno je poznavanje ukupne količine određenih nuklida u pojedinim intervalima vremena. U Tabeli 1. pokazana je lista produkata u jezgru WWER-440 reaktora 50 dana posle punjenja gorivom i 300 dana posle punjenja, odnosno neposredno pre planiranog novog punjenja. Prvi podatak je važan zbog toga što je raspodela snage u jezgru maksimalna na početku života jezgra. Smatra se da je u slučaju na primer LOCA (Loss of Coolant Accident), širenje toplote opasnije na početku ciklusa nego kasnije kada se raspodela snage smanji /3/.

4. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČCI

Model koji program DELFIN koristi za proračun koncentracija fisijonih produkata sastoji se od pretpostavke da svi lanci radioaktivnih fisijonih produkata mogu da se linearizuju. Veoma je jednostavan ali se smatra dovoljno pouzdanim kada se radi o predviđanju širenja aktivnosti izvan reaktora u slučaju akcidenta.

U slučaju da reaktor radi u režimu konstantne snage i da je prinos fisije konstantan, a zanemare se uticaji dugoživećih roditelja i neutronske apsorpcije, moguće je koristiti aproksimativnu formulu za računanje aktivnosti fisijonih produkata /2/

$$A = 8.4 Y P_{th} (1 - e^{-t/T}) . \quad (1)$$

Pri tome je A aktivnost (KCi), Y prinos od fisije (%), P_{th} snaga (MW), T vreme poluraspada (s) i t vreme (s).

U Tabeli 1. upoređjene su aktivnosti pojedinih fisijonih produkata za WWER-440 jezgro računane aproksimativnom formulom i programom DELFIN. Za proračun je korišćen prinos U^{235} .

Mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Proračun aktivnosti na osnovu aproksimativne formule nije pouzdan za mnoge radiološki važne nuklide.
- Poznavanje prinosa svih fisibilnih nuklida omogućava da se proračun aproksimativnom formulom vrši pomoću efektivnih vrednosti pri-

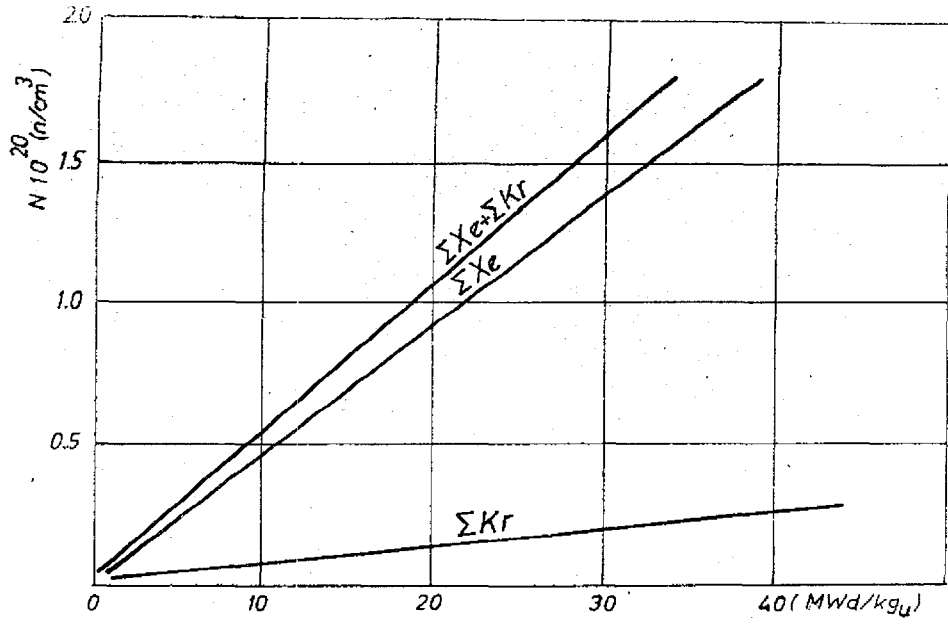
nosa, u ovom slučaju U^{235} i Pu^{239} pa se pri tome rezultati proračuna aproksimativnom formulom (1) ne razlikuju više od 10% od proračuna programom DELFIN (Tabela 1.). Za sigurnosnu analizu smatra se da je ova tačnost dovoljna ako se ima u vidu da formula (1) predviđa veće vrednosti aktivnosti od programa DELFIN.

Tabela 1.

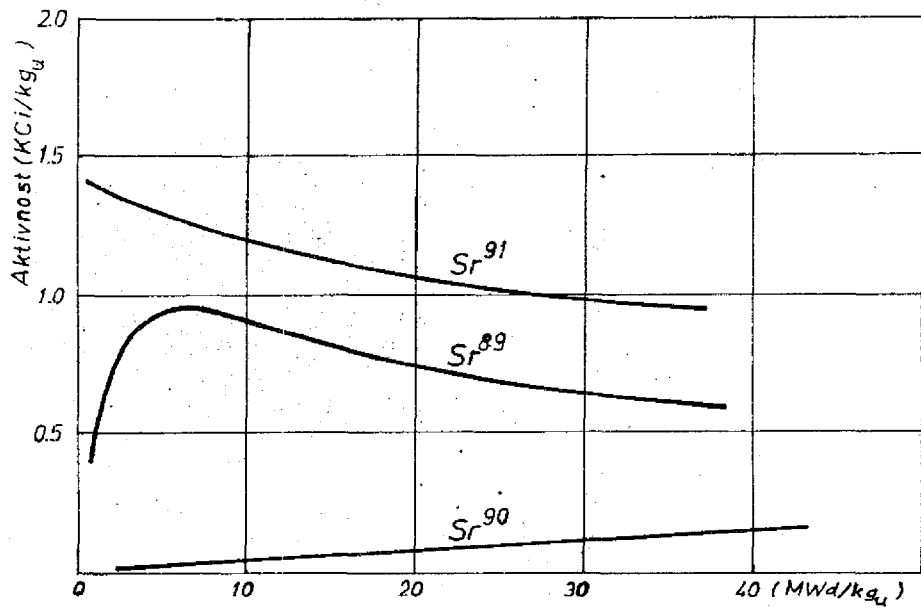
| Nuklid | Aktivnost (MCi) | | | |
|--------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | DELFIN 50 d | DELFIN 300 d | Formula 1. 300 d | Kor.form. 1. 300 d |
| I 131 | 33.6 | 34.2 | 34.9 | 38.0 |
| I 133 | 75.6 | 75.2 | 77.0 | 79.0 |
| I 135 | 70.3 | 69.2 | 72.0 | 72.0 |
| Xe 135 | 23.1 | 22.6 | | 24.0 |
| Xe 133 | 75.6 | 75.2 | 78.0 | 81.0 |
| Cs 137 | 1.62 | 2.60 | 2.76 | 2.8 |
| Te 132 | 50.6 | 51.5 | 54.2 | 58.2 |
| Ru 103 | 35.7 | 50.4 | 33.0 | 49.0 |
| Ru 106 | 6.58 | 12.0 | 2.8 | 13.2 |
| Sr 89 | 35.8 | 40.2 | 55.2 | 38.0 |
| Sr 90 | 1.28 | 2.1 | 2.6 | 2.4 |
| Sr 91 | 57.7 | 51.6 | 67.2 | 58.0 |

LITERATURA

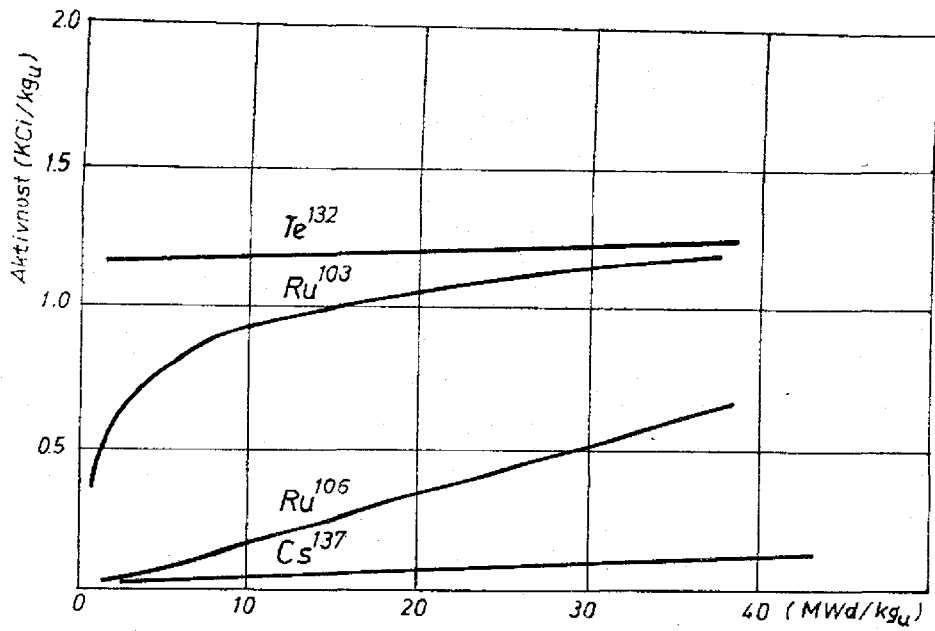
1. N.Marinković "Program DELFIN za proračun promene izotopskog sastava fisijonih produkata, uputstvo za korišćenje", IBK- (u štampi).
2. L.Mattila, J.Stengård "Inventories of Stable Fission Gases and Radiologically Important Radioactive Fission Products in the Core of a Pressurized Water Reactor", VTT 15, 1975.
3. I.Aro, L.Mattila "Fission Product Behaviour in LWR Containment under LOCA Conditions", Proceedings of the European Nuclear Conf. Paris, 1975.
4. D.R.Mathews, B.G.McGehee "A Review of Fission Product Yields and Cross Sections", USAEC Report Gulf-GA-B 12071, 1971.
5. R. Alpiar "METHUSELAH Program" AEEW-R 135, 1963.



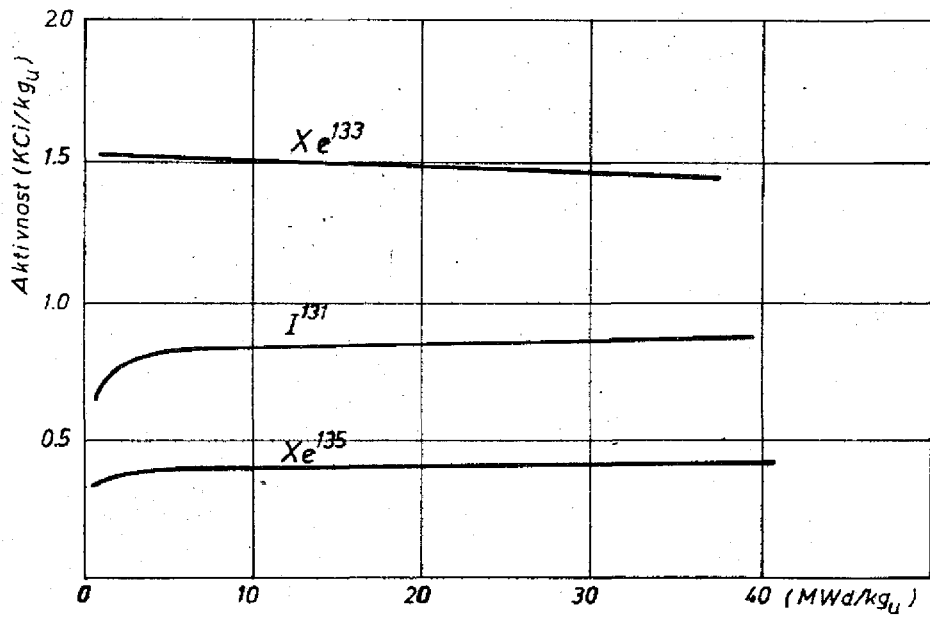
Sl.1 Koncentracija stabilnih fisionih gasova u funkciji izgaranja



Sl.2 Aktivnost nuklida Sr



Sl.3 Aktivnost nuklida Ru, Te i Cs



Sl.4 Aktivnost nuklida Xe i I