

I. Zmijarević, V. Stančić, R. Simović

Institut za nuklearne nauke

"Boris Kidrič" - Vinča

IZGOR - VIŠEGRUPNI DVODIMENZIONALNI DIFUZIONI  
PROGRAM ZA PRORAČUN IZGARANJA

IZGOR - A FEW-GROUP TWO-DIMENSIONAL DIFFUSION  
DEPLETION CODE

**SADRŽAJ** - Program izračunava efektivni faktor umnožavanja neutrona u funkciji izgaranja i načina izmene goriva difuzionim postupkom u dve ili četiri grupe. Predstavlja modularnu šemu sastavljenu iz programa WIMSD4 za izračunavanje ćelijskih parametara u funkciji izgaranja i nove verzije programa FOTO. Rezultati proračuna prema ovakvoj šemi već su ranije verifikovani a u ovom radu dat je opis programa i primer proračuna reaktora RA.

**ABSTRACT** - Program calculates the multiplication factor  $k_{eff}$  of the reactor as a function of fuel burnup and fuel shuffling. It is a modular scheme consisting of program WIMSD4 for the calculation of reactor lattice cell parameters as a function of fuel burnup and a new version of program FOTO. The results of overall reactor calculation by such scheme has already been tested. In this paper the description of the program is given and results of the RA reactor calculations are presented.

1. UVOD

Proračun izgaranja nuklearnog goriva u jezgru reaktora obuhvata proračun izotopskog sastava goriva, kao i koncentracija svih nuklida koji utiču na reaktivnost, u različitim tačkama jezgra i u različitim trenucima rada reaktora i određivanje uticaja sastava jezgra na reaktivnost za duži period vremena/1/. Ovo je potrebno za analizu uslova ostvarivanja kritičnosti u zavisnosti od izgaranja i za utvrđivanje šeme izmene goriva.

Uobičajeni postupak proračuna izgaranja koji je primenjen i u programu IZGOR, sastoji se u sledećem: vremenski period za koji se analizira rad reaktora deli se na određen broj intervala u kojima se raspodela neutronskog fluksa i snage smatraju konstantnim.

Prostorna varijacija promene izotopskog sastava goriva sa izgaranjem usled izloženosti različitom neutronskom fluksu, aproksimira se podelom jezgra na odgovarajući broj zona u kojima se koncentracije smatraju konstantnim u prostoru, tj. smatra se da gorivo izgara uniformno. Na početku svakog vremenskog intervala vrši se statički proračun reaktora višegrupnim difuzionim postupkom. Na osnovu izračunate raspodele fluksa i snage određuje se novi izotopski sastav, odnosno izgaranje u pojedinim zonama jezgra na kraju datog vremenskog intervala. Sa ovako izračunatim koncentracijama vrši se ponovni proračun grupnih konstanti i globalni proračun reaktora za sledeći vremenski interval.

Na osnovu programa koje sadrži NET IBK paket računarskih programa za rešavanje navedenih problema, u NET IBK se već duži period vremena analiziraju različite mogućnosti kombinovanja pojedinih programa u modularne šeme /2/, /3/. U radu /3/ analizirane su mogućnosti povezivanja programa WIMSD4 /4/, /5/ sa programom FOTO /6/. Uočene su znatne prednosti ovakve modularne šeme. Rezultati statičkog proračuna pomoću ova šeme verifikovani su na primerima proračuna kritičnosti reaktora RB. Pokazano je da je greška u izračunatoj kritičnoj visini manja od 1%. Zbog pomenutih činjenica odlučeno je da se ostvari automatizovana veza ova dva programa.

Ostvarivanjem ovakve veze računarskih programa dobijene su i nove mogućnosti za optimizacione analize načina korišćenja goriva. Mogućnosti programa su:

- 1 praćenje efektivnog faktora umnožavanja neutrona sa izgaranjem,
- određivanje nuklearnih podataka u zavisnosti od izgaranja,
- biranje finih koraka izgaranja,
- izmeštanje i zamena goriva,
- testiranje maksimalnih opterećenja i izgaranja po kanalu,
- automatsko prekidanje programa u slučaju da reaktivnost postane manja od zadate.

## 2. OPIS PROGRAMA

Program je postavljen na računskoj mašini IBM 370/3031. Automatska veza dva programa ostvarena je na posredan način, tako što je iskorišćena mogućnost programa WIMS da na posebnoj izlaznoj jedinici daje ćelijske parametre u funkciji izgaranja. WIMS najpre izračunava difuzione parametre za sve tipove gorivnih ćelija koje

pri tom se raspodela neutronskog fluksa iz transportnog proračuna kondenzuje u pet energetskih grupa, te se na osnovu ovakvog spektra izračunavaju difuzione konstante u dve i četiri grupe. Globalni proračun reaktora vrši se najpre za početno stanje za koje se zadaju početni nivoi izgaranja goriva u pojedinim zonama. Izračunata raspodela fluksa se normira na zadatu snagu i usrednjava po zonama u kojima se izgaranje smatra uniformnim. Za svaku zonu izračunava se srednja snaga koja se smatra konstantnom u zadatom vremenskom intervalu. Na kraju vremenskog intervala izračunavaju se dostignuti nivoi izgaranja. Zatim se za svaku zonu određuju nove difuzione konstante koje odgovaraju datom nivou izgaranja, linearnom interpolacijom podataka dobijenih programom WIMS. Ove difuzione konstante predstavljaju ulazne podatke za globalni proračun u sledećem vremenskom intervalu.

Program automatski vrši izmeštanje goriva između dva vremenska intervala, ukoliko se to zahteva. U tom slučaju izmeštanje se vrši posle izračunavanja snage i izgaranja na kraju zadatog vremenskog intervala, a pre globalnog proračuna za sledeći interval. Ukoliko se izmeštanje vrši u početnom trenutku, proračun reaktora vrši se dva puta, tj. pre i posle izmeštanja goriva.

Na izlazu program štampa vrednosti efektivnog faktora umnožavanja u funkciji vremena, a za svaki vremenski interval, ukoliko se to zahteva, daje prostornu raspodelu fluksa po grupama, raspodelu snage i izgaranja po zonama, šemu izmene goriva i integralne veličine kao što su apsorpcija i izvor neutrona po zonama i granični gubici. Rezultati delijskog proračuna programom WIMS ostaju sačuvani na posebnoj ulazno-izlaznoj jedinici u vidu permanentnog seta podataka tako da se mogu koristiti i u narednom proračunu.

Modifikovana verzija programa FOTO ima sve mogućnosti ranijeg programa. Pored uvođenja novih mogućnosti proračuna, modifikacije su izvršene i u cilju smanjenja vremena računanja. Uvedena je mogućnost da se izračunata raspodela fluksa sačuva na posebnoj izlaznoj jedinici i da se koristi kao početna raspodela u narednom proračunu. Ovo znatno smanjuje vreme računanja čak i u slučaju kad ova raspodela odgovara sasvim drugom stepenu izgaranja goriva.

### 3. PRIMER PRORAČUNA

Prikažan je primer proračuna reaktora RA sa 80% obogaćenim tubularnim gorivom /7/. Određen je faktor umnožavanja neutrona i izgaranje goriva u nekontrolisanom reaktoru u toku četiri ciklusa izmene goriva u prelaznom režimu rada, u kome se od početne konfi-

guracije sa 44 gorivna kanala u jezgru dolazi do nominalne konfiguracije za ovaj tip goriva sa 72 kanala. Napominjemo da ovde nije bio cilj da se odredi ili verifikuje optimalna šema izmene goriva, već je proračun prikazan u cilju ilustracije mogućnosti programa.

Proračun je izvršen u R-Z geometriji u dve energetske grupe. Snaga reaktora je 5,2 MW, a grupne konstante u funkciji izgaranja računane su sa korakom od  $10^4$  MWd/t. Početno jezgro je izdvojeno na 24 zone, a kako se ono povećava, raste i broj zona, do 44 za nominalnu konfiguraciju. Zone su postavljene tako da dele jezgro aksijalno na četiri dela. Pojedine konfiguracije jezgra i način izmeštanja goriva prikazani su na Sl.1. Na Sl.2. prikazana je zavisnost efektivnog faktora umnožavanja od vremena rada reaktora i izmene goriva, a na Sl.3. raspodela izgaranja u pojedinim zonama jezgra na kraju ciklusa, tj. pre izmene goriva.

#### 4. ZAKLJUČAK

Program IZGOR omogućava analizu uslova ostvarivanja kritičnosti u zavisnosti od izgaranja i načina izmeštanja goriva i predstavlja dopunu NET IBK paketa računarskih programa za globalnu analizu izgaranja nuklearnog goriva. Automatska veza programa pruža mogućnost uvodjenja optimizacionih procedura. U planu su dalje modifikacije programa, što će omogućiti automatsko odredjivanje parametara kritičnosti, kao što je odredjivanje položaja kontrolnih šipki ili koncentracije kontrolnog apsorbera u funkciji izgaranja, za zadatu vrednost faktora umnožavanja.

#### LITERATURA

- /1/ M.V.Mataušek, "Metodologija proračuna energetskih nuklearnih reaktora", Energetski nuklearni reaktori - zbornik predavanja, IBK, 1980.
- /2/ M.V.Mataušek, R.Simović, "Modularne šeme za analizu izgaranja nuklearnog goriva", Zbornik radova XXIV jugoslovenske konferencije ETAN-a, IV.37, 1980.
- /3/ M.V.Mataušek, R.Simović, V.Stančić, "Nove mogućnosti NET IBK paketa računarskih programa za globalnu analizu izgaranja nuklearnog goriva", Zbornik radova XXVI jugoslovenske konferencije ETAN-a, IV.69, 1982.
- /4/ M.J.Hallsal, "A Summary of WIMSD4 Input Options", AEEW - M1327, 1980.
- /5/ M.J.Hallsal, "Additional Edit Facilities Available on a KDF9 Version of WIMSD", AEEW - M856, 1980.
- /6/ A.Kocić, M.Pešić, V.Stančić, "Uputstvo za korišćenje programa FOTO", IBK-1374, 1977.
- /7/ "Analiza sigurnosti reaktora RA", Interna publikacija, IBK, 1980.

		12	16		
		12	20	32	
12	12	16	28		
16	20	24			
	32				

a) Početna konfiguracija jezgra

		12	16		
	8	12	20	32	
12	12	16	28		
16	20	24			
	32				

b) Jezgro posle prvog izmeštanja: 28→8, 29→9, 30→10, 31→11.

	4	12	16		
4	8	12	20	32	
12	12	16	28		
16	20	24			
	32				

c) Jezgro posle drugog izmeštanja: 24→4, 25→5, 26→6, 27→7.

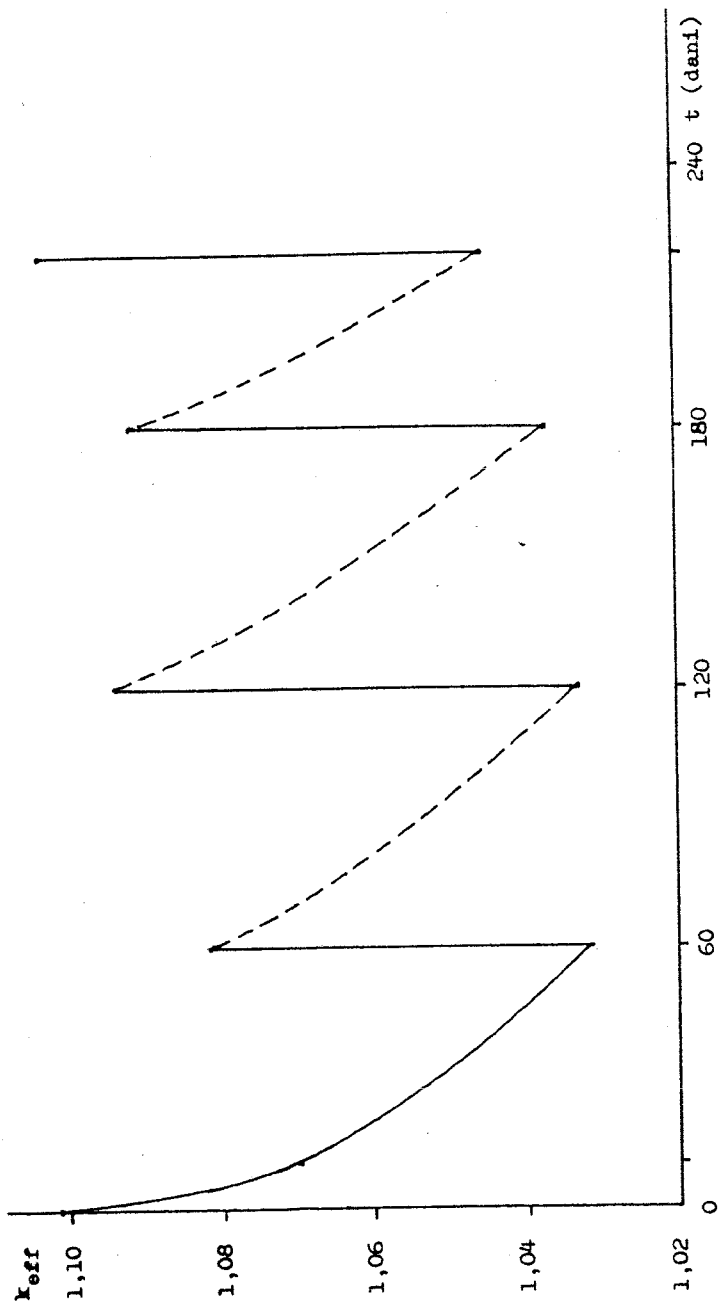
	4	12	16		
4	8	12	20	32	
12	12	16	28		
16	20	24	36		
	32	36			

d) Jezgro posle trećeg izmeštanja: 20→36, 21→37, 22→38, 23→39.

	4	12	16		
4	8	12	20	32	40
12	12	16	28	40	
16	20	24	36		
	32	36			
	40				

d) Jezgro posle četvrtog izmeštanja: 8, 16→40; 9, 17→41; 10, 18→42; 11, 19→44.

Slika 1. Prelazne konfiguracije jezgra i način izmeštanja goriva.



Slika 2. Zavisnost efektivnog faktora umnožavanja neutrona od vremena rada reaktora i načina izmeštanja goriva.

		64,5 93,0 101,0 83,5	57,9 83,5 90,8 75,5		
		64,5 93,0 101,0 83,5	53,7 77,4 84,3 70,5	46,2 66,4 72,3 60,7	
64,5 93,0 101,0 83,5	64,5 93,0 101,0 83,5	57,9 83,5 90,8 75,5	49,3 71,0 77,4 65,2		
57,9 83,5 90,8 75,5	53,7 77,4 84,3 70,5	50,9 73,3 79,9 67,1			
	46,2 66,4 72,3 60,7				
		t=60 dana			

		123,3 174,3 188,2 157,2	111,2 157,5 170,3 142,9		
	115,8 164,1 177,4 148,7	123,3 174,3 188,2 157,2	103,1 146,0 158,2 133,3	88,3 125,3 135,8 114,9	
123,3 174,3 188,2 157,2	123,3 174,3 188,2 157,2	111,2 157,5 170,3 142,9	48,6 69,8 75,9 63,8		
111,2 157,5 170,3 142,9	103,1 146,0 158,2 133,3	97,6 138,4 150,0 126,9			
	88,3 125,3 135,8 114,9				
		t=120 dana			

Slika 3. Izgaranje po kanalima u  $10^3$  MWd/t za 4 zone u kanalu

	163,5 226,2 241,7 203,7	178,8 246,7 263,2 220,7	161,8 223,9 239,4 201,3		
163,5 226,2 241,7 203,7	176,9 244,3 260,7 218,9	178,8 246,7 263,2 220,7	149,8 207,9 222,5 187,7	128,2 178,6 191,4 161,7	
178,8 246,7 263,2 220,7	178,8 246,7 263,2 220,7	161,8 223,9 239,4 201,3	94,1 132,3 141,6 118,5		
161,8 223,9 239,4 201,3	178,8 246,7 263,2 220,7	50,9 71,8 76,2 62,2			
	128,2 178,6 191,4 161,7				

t=180 dana

	208,6 280,4 295,0 248,5	217,8 292,9 308,3 259,0	198,0 267,6 282,2 237,2		
208,6 280,4 295,0 248,5	219,2 294,3 309,7 260,3	217,8 292,9 308,3 259,0	42,3 56,9 57,6 45,2	157,3 214,8 227,3 191,5	
217,8 292,9 308,3 259,0	217,8 292,9 308,3 259,0	198,0 267,6 282,2 237,2	127,6 174,8 184,1 153,3		
198,0 267,6 282,2 237,2	42,3 56,9 57,6 45,2	87,7 102,0 124,8 101,2	176,2 240,1 250,3 214,5		
	157,3 214,8 227,3 191,6	176,2 240,1 254,3 214,5			

t= 225 dana

Slika 3. (nastavak)