

IBK-308



CS05RA026

IBK-308

P.Strugar, V.Nikolić

OPTIMALNA ŠEMA  
IZMENE GORIVA REAKTORA R1

**INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“**  
BEOGRAD-VINČA

IBK - 308

NUKLEARNA TEHNIKA

IBK-308

P.Strugar, V.Nikolić

OPTIMALNA ŠEMA  
IZMENE GORIVA REAKTORA RA

- biće referisan na X jugoslovenskoj  
konferenciji ETAN-a, Beograd, novembra 1965.

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"

BEOGRAD - VINČA

Oktobar 1965.

## 1. U V O D

Idealna šema izmene goriva u nuklearnom reaktoru zahteva kontinualno pomeranje goriva, tako da za vreme njegovog bavljenja u aktivnoj zoni bude izloženo svim postojećim vrednostima neutronskeg fluksa. Maksimalna dubina izgaranja goriva, pri ovakvoj šemi izmene, zavisi od smera i brzine kretanja istog.

U odnosu na smer kretanja goriva postoje dve mogućnosti: gorivo se može kretati od mesta sa najvećim prema mestu sa najmanjim neutronskeg fluksom ili obratno. Prvi slučaj daje veću dubinu izgaranja goriva. Drugi slučaj ima prednosti nad prvim ukoliko se vodi računa i o obliku prostorne raspodele neutronskeg fluksa, mada daje nešto manju dubinu izgaranja. /1/.

Brzina kretanja goriva utiče na njegovu dubinu izgaranja preko nastojanja plutonijuma. Uvek u reaktoru postoji mesto sa takvom vrednošću neutronskeg fluksa za koju je izotopski sastav nastalog plutonijuma najpovoljniji. Brzina pomeranja goriva kroz mesta sa ovim neutronskeg fluksom trebala bi da bude što manja. Međutim, ovo dolazi do punog izražaja kod reaktora sa gorivom od prirodnog urana, a sve se manje oseća sa povećanjem obogaćenja urana.

Idealnu šemu izmene goriva tehnički nije moguće ostvariti, čak ni kod reaktora sa mašinama za kontinualnu izmenu goriva, te se u praksi pribegava njenim aproksimacijama.

Jedna od mogućih aproksimacija kod cilindričnih reaktora je diskontinualno pomeranje određenih grupa gorivnih kanala u radijalnom pravcu. Ovim se može dobiti dosta veće izgaranje naročito ako se istovremeno izvodi i aksijalna inverzija goriva /1/.

Aksijalna inverzija goriva se sastoji u podeli goriva u kanalu na dva dela i obrtanju ta dva dela sa ciljem da integralni fluks krajnjih gorivnih elemenata bude približno isto. Granica ovih delova je odredjena maksimumom aksijalne distribucije neutronskog fluksa.

Potrebno je naglasiti da je ovakva aproksimacija idealne šeme izmene goriva prilično složena, jer zahteva veliki broj operacija sa gorivom u reaktoru ili van njega. Daleko praktičnija je dalja aproksimacija idealne šeme izmene goriva koja se sastoji u protivstrujnom pomeranju gorivnih elemenata kao kod reaktora CANDU /2/. Ovakva šema izmene goriva daje manje izgaranje od prethodno opisane, ali dosta veće u odnosu na običnu izmenu (jednovremeno punjenje i pražnjenje svih gorivnih kanala).

Primena bilo kakve aproksimacije idealne šeme izmene goriva je aktuelna i izvodi se gotovo isključivo kod energetskih reaktora. Ponekad se kod istraživačkih reaktora koristi jedan drugi način boljeg iskorišćenja goriva koji se sastoji u mešanju svežeg i nedovoljno sagorelog goriva /3/. Ovakva šema izmene ima izvesnih prednosti u odnosu na običnu izmenu i interesantna je uglavnom u zemljama bez sopstvene proizvodnje nuklearnog goriva.

## 2. DOSADAŠNJA IZMENA GORIVA REAKTORA RA

Dosadašnja izmena goriva reaktora RA bazirale se na težnji da prosečno izgaranje svakog izvađenog gorivnog kanala bude približno isto, bez obzira na njegovo mesto u rešetci reaktora. Ovo se postizalo dužim zadržavanjem u reaktoru onih gorivnih kanala koji se nalaze na mestima manjeg neutronskog fluksa.

Na slici 1 dat je prosečan rad izvedjenih gorivnih kanala u funkciji rada reaktora. Pod sadašnjim uslovima izmene goriva /4/ prosečan rad izvedjenih gorivnih kanala iznosi oko 17.8 MWD (slika 1). Obična šema izmene goriva dela bi prosečno izgaranje od 14.8 MWD/kanalu, te se sadašnjim načinom izmene povećava izgaranje goriva za oko 20%.

Veće izgaranje goriva nekih kanala ranije izvedjenih (slika 1) je posledica nekadašnjeg načina formiranja jezgra. Naime, reaktor je počeo rad 1959. godine sa 56 gorivnih kanala (jezgro A). Posle rada od 310 MWD rešetka je u januaru 1962. godine dopunjena do 68 (jezgro B). Sa ovim punjenjem reaktor je radio 357 MWD. Potom je rešetka dopunjena na maksimalan broj gorivnih kanala (84 - jezgro C). Rad u tom periodu iznosio je 579 MWD, te je ukupan rad reaktora do prve izmene goriva iznosio 1246 MWD.

Pri odredjivanju pada reaktivnosti gorivnog kanala u funkciji njegovog rada i mesta u rešetci reaktora p lazi se od sledećeg /4/:

- pad reaktivnosti gorivnog kanala je proporcionalan njegovom radu,

- prema jednogrupnoj perturbacionoj teoriji neutrona odnos reaktivnosti istog gorivnog kanala koji se prenesti sa jednog na drugo mesto je ravan odnosu kvadrata neutronske flukseve na tim mestima.

Navedene zavisnosti su eksperimentalno potvrđjene /4/. One se mogu uopštiti, tako da važe za svaki gorivni element posebno.

### 3. ŠEMA IZMENE PRI MEŠANJU SVEŽEG I "ISKUŽENOG" GORIVA

Najprostiji metod odredjivanja dubine izgaranja je preko integralnog neutronske flukseve. Rad i-tog gorivnog elementa

$a_i$  dat je izrazom

$$a_i = f_i \cdot A_k,$$

gde je  $f_i$  udeo i-tog gorivnog elementa u ukupnom radu kanala  $A_k$ .

Na osnovu svih dosadašnjih merenja aksijalnih distribucije neutronskog fluksa u vertikalnim eksperimentalnim kanalima /5, 6, 7/ nadjene su prosečne vrednosti relativnog udela pojedinih gorivnih elemenata u radu kanala (tabela 1).

Na osnovu ranije utvrdjenog /4/ sledi da je pad reaktivnosti svakog gorivnog elementa ( $\rho_i$ ) ravan

$$\rho_i = C \cdot a_i \cdot f_i^2,$$

gde je C koeficijent proporcionalnosti.

Ukoliko se gorivni element sa mesta  $i'$  prebaci na mesto  $i$  njegova reaktivnost na novom mestu biće

$$\rho_{i'} = C \cdot a_{i'} \cdot \frac{f_i^2}{f_{i'}}.$$

Tabela 1 - Relativni udeo gorivnih elemenata u radu kanala

Položaj gorivnog elementa računajući od vrha kanala	$f_i$
1	0,055
2	0,067
3	0,081
4	0,092
5	0,101
6	0,109
7	0,112
8	0,109
9	0,101
10	0,092
11	0,081

Dati obrazac je moguće napisati pod pretpostavkom da je distribucija fluksa pri premeštanju goriva ostala nepromenjena.

Na osnovu date i poznate linearne zavisnosti rada kanala od pada reaktivnosti  $\Delta k$  nalazi se relativno povećanje rada kanala, usled izmene mesta gorivnih elemenata, u obliku

$$\frac{\Delta A_k}{A_k} = - \frac{A_k}{A_0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot f_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i^3},$$

gde je  $A_0 = 17.8$  MWD/kanalu a  $n$  broj gorivnih elemenata u novoformiranom kanalu, izuzimajući sveže.

Pod pretpostavkom da je rad svako izvadjenog gorivnog kanala  $A_k = A_0$  dobija se

$$\frac{\Delta A_k}{A_k} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot f_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i^3}$$

Da bi dodatni rad kanala bio što veći potrebno je da

$\sum f_i \cdot f_i^2$  bude što manja. Može se pokazati metodom matematičke indukcije da je

$$\min \left( \sum_{i=1}^n f_i \cdot f_i^2 \right) = \sum_{i=1}^n f_{n+1-i} \cdot f_i^2,$$

odnosno

$$i' = n+1-i$$

gde su  $f_i$  i  $f_{i'}$  članovi monotno rastućih nizova. Ovo znači da premeštanje treba tako obaviti da gorivni element sa mesta najmanjeg fluksa ide na mesto najvećeg i obratno. Time se samo potvrđuje selishodnost izvodjenja aksijalne inverzije koja je opisana u odeljku 1.

Na slici 2 je dat sračunati faktor iskorišćenja isluženog

i svežeg goriva, kao i srednje iskorišćenje. Vidi se da je najpovoljniji broj svežih gorivnih elemenata u formiranom kanalu pet.

U tabeli 2 data je šema formiranja gorivnih kanala od svežih i isluženih gorivnih elemenata za nekoliko generacija unapred, pri maksimalnom faktoru iskorišćenja koji prema slici 2 iznosi 1,34.

Pošto izgaranje dosadašnje isluženog goriva varira u širem opsegu potrebno je svaki isluženi gorivni element sistematizovati. Ovo se može uraditi na osnovu rada isluženog kanala i položaja elementa u kanalu (tabela 3), vodeći računa i o povećanju ugradjenje reaktivnosti reaktora usled reduciranja eksperimentalnog prostora /6/.

Tabela 2 - Šema formiranja gorivnog kanala

Položaj elementa od vrhe kanala	Generacija kanala		
	A	B	C
1	stari (A-1)	A-7	B-7
2	stari (A-2)	A-6	B-6
3	stari (A-3)	A-5	B-5
4	stari (A-4)	sveži	B-4
5	sveži	sveži	sveži
6	sveži	sveži	sveži
7	sveži	sveži	sveži
8	sveži	sveži	sveži
9	sveži	sveži	sveži
10	stari (A-10)	A-9	B-9
11	stari (A-11)	A-8	B-8



Tabela 3 - Sistematizacija isluženog goriva

Položaj elementa	Red isluženog gorivnog kanala			
	do 19 MWD	19-21 MWD	21-24 MWD	24-28MWD
A-1	4	3	2	1
A-2	3	2	1	-
A-3	2	1	-	-
A-4	1	-	-	-
A-10	11	-	-	-
A-11	10	11	-	-

U tabeli 4 dato je srednje izgaranje goriva reaktora RA pri različitim načinima izmene goriva.

Tabela 4 - Srednje izgaranje goriva reaktora RA

Redni broj	Šema izmene	Izgaranje (MWD/T)
1	obična šema izmene	3600
2	dosadašnja šema izmene	4400
3	dosadašnja šema izmene uz reduciranje eksperimentalnog prostora	4800
4	dosadašnja šema izmene uz reduciranje eksperimentalnog prostora i mešanje svežeg i isluženog goriva	6300

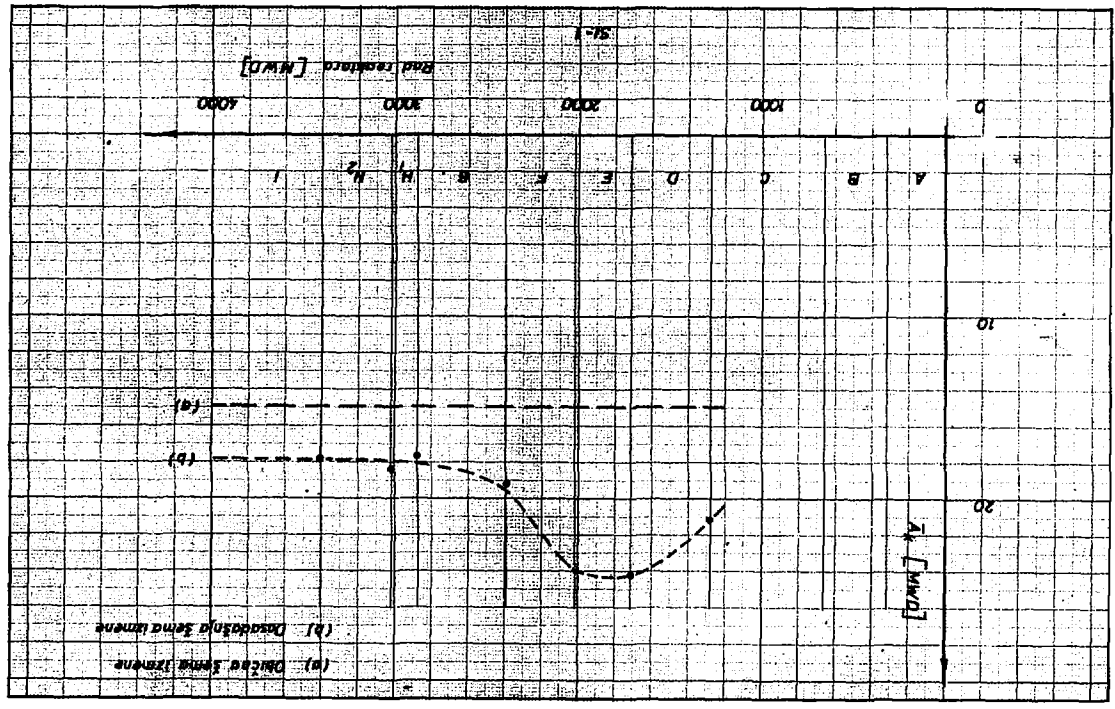
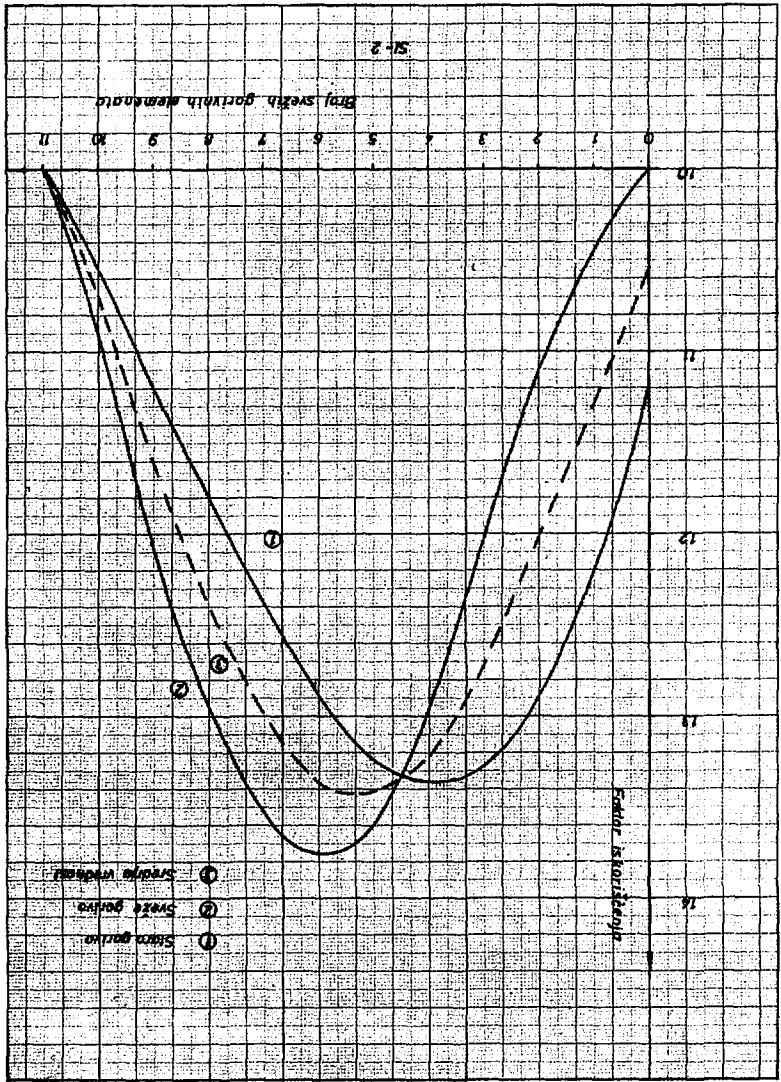
#### 4. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ukazuju na činjenicu da se mešanjem svežeg i isluženog goriva može dobiti oko 30% veća dubina izgaranja, odnosno oko 40% ukoliko se uračuna i skok ugrađene reaktivnosti reaktora usled reduciranja neefektivnog eksperimentalnog prostora.

Dosadašnjim načinom izmene goriva ostvareno je srednje izgaranje od oko 4400 MWD/T, dok se predloženom šemom izmene (tabela 2 i 3), uz reduciranje eksperimentalnog prostora, biti moguće ostvariti srednje izgaranje goriva od oko 6300 MWD/T, što daje srednje izgaranje po izvadjenom kanalu od oko 25 MWD.

R E F E R E N C E:

- /1/ C. Groves et al., NDA-2131-24 (1962)
- /2/ J.N. Fairlie, AECL-1596 (1962)
- /3/ H.L. McMurry: "Calculation of MTR fuel loading"  
Nuc. Sci. and Eng., 6 (1959).
- /4/ N. Dobrosavljević i dr.: "Planiranje izmene  
goriva reaktora RA". IX konferencija ETAN-a,  
Bled (1964).
- /5/ H.Marković i dr.: "Pregled merenja karakteri-  
stika fluksa neutrona u reaktoru RA od 1959  
do 1962." Simpozijum iz reaktorske fizike,  
Ljubljana (1963).
- /6/ P.Strugar i dr., "Merenje fizičkih karakteristi-  
ka reaktora RA (jezgro D)". Zadatak 3.08/06-1963.  
Dokumentacija Reaktora RA.
- /7/ P.Strugar i dr.: "Merenje neutronskeg fluksa  
u eksperimentalnom prostoru reaktora RA (je-  
zgro H)". Prilog uz Izveštaj o radu reaktora  
RA za 1965. godinu. Dokumentacija Reaktora RA.



Izdavač:  
Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“  
Poštanski fak 522  
Beograd - Vinča