



CS06RA440

IZRAČUNAVANJE DEPRESIJE FLUKSA TERMALNIH NEUTRONA

U"PEGLJI" VISA-1

1. U V O D

Petlja VISA-1 namenjena je, između ostalog, ispitivanju materijala na termička naprezanja. Za ova ispitivanja potrebno je poznavati maksimalnu snagu koja se razvija u petlji. Ova maksimalna snaga određuje se iz maksimalnog fluksa termalnih neutrona u kanalu VK-5 i srednje depresije fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti petlje.

Depresija fluksa termalnih neutrona u petlji uzrokovana je apsorpcijom u komponentama petlje, geometrijom ovih komponentata i isticanjem neutrona preko šupljina u petlji kao i osobinama reaktorske sredine koja okružuje petlju. Svi ovi faktori uzeti su u obzir i izračunata je depresija fluksa termalnih neutrona u petlji VISA-1. Primenjena je difuzionu teorija sa dve grupe neutrona preko modela sa „beskonačnim ravnim fluksom“ [3]. Uzeti su u obzir brzi neutroni nastali fisijom u petlji i usporeni u okolnjoj sredini - aktivnoj zoni RA.

Depresija neutronskog fluksa izražena je depresionim faktorom DF , koji predstavlja odnos srednjeg fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti petlje prema fluksu termalnih neutrona u VK-5 bez petlje.

Izvršena je procena greške i izveden je zaključak da je poželjno i eksperimentalno određivanje depresionog faktora. Moguće je izračunati depresioni faktor i drugim teorijskim metodama i izvršiti upoređivanje rezultata.

U izvršenju ovog zadatka učestvovali su Martino Radovan, fizičar i Branje Zoran, tehničar.

2. TEORIJA

Primenjena je difuziona teorija sa dve grupe neutrona. U brznoj grupi neutrona uzeti su u obzir (samo) brzi neutroni stvoreni u petlji usled fisije. Brzi neutroni koji dolaze u petlju iz okolne reaktorake sredine nisu uzeti u obzir jer je koločina moderirajućih materijala košuljice od Berilijuma u petlji relativno vrlo mala, kao i efekat brze fisije u fisilnoj komponenti petlje.

Korišten je model „beskonačnog ravnog fluksa“, tj. pretpostavljeno je da nedisturbirani fluks termalnih neutrona u reaktoru ima oblik beskonačnog ravnog fluksa u koji se ubacuje petlja [3]. Na ovako određenom raspodelu termalnog fluksa primenjuje se korekcija zbog realne makroskopske raspodele termalnog neutronskeg fluksa u reaktoru RA, koja u blizini centra aktivne zone ima oblik $AJ_0(\propto r)$. Prema tome:

$$\varphi(r) = \phi(r) \frac{AJ_0(\propto r)}{\phi_{2\infty}} \quad (1)$$

gde je A fluks termalnih neutrona u centru reaktora bez petlje, $\phi_{2\infty}$ je beskonačan ravan fluks termalnih neutrona i on je jednak vrednosti fluksa u centru reaktora. Radi poeasnosti je proizvoljno uzeto da je $\phi_{2\infty} \equiv A = 1$. $\phi(r)$ je distribucija termalnih neutrona u petlji ubačenoj u "beskonačan ravan fluks" termalnih neutrona i oko nje a $\varphi(r)$ je raspodela termalnih neutrona u petlji i oko nje kad je petlja ubačena u makroskopski fluks koji odgovara reaktoru RA.

Obzirom da se raspolaže veličinom termalnog fluksa, koji odgovara maksimalnoj snazi reaktora RA, izmerenom u kanalu VK-5, a ne u centru reaktora bez kanala, na koju se

primenjuje izračunati faktor depresije, predhodno je izračunata depresija fluksa koja potiče samo od kanala VK-5 i prema tome konstanta A, odnosno izmereni fluks u kanalu VK-5 se moraju povećati za odgovarajuću veličinu koja iznosi $A_{cor} = 1,0295$. Ovaj račun dat je na str. 5.

Kratki prikaz metode "beskonačnog ravnog fluksa"

Ako se u "beskonačni ravan fluks" termalnih neutrona ϕ_{200} ubaci "petlja" u obliku cilindričnog apsorbera radijusa a i centar ovakve "petlje" isabere za centar cilindričnog koordinatnog sistema, onda će rešenje difuzione jednačine za termalne neutrone imati oblik:

$$\begin{aligned}\phi_{200} &= \phi_{200} - AK_0(k_{20}r) \text{ u materijalu oko petlje} \\ \phi_{2p} &= B I_0(k_{2p}r) \text{ u petlji}\end{aligned} \quad (2)$$

Konstante A i B određuju se iz graničnih uslova:

$$\begin{aligned}\phi_{20}(a) &= \phi_{2p}(a) \\ D_{20} \phi_{20}(a) &= D_{2p} \phi_{2p}(a)\end{aligned} \quad (2a)$$

tj.

$$\begin{aligned}\phi_{200} - AK_0(k_{20}a) &= B I_0(k_{2p}a) \\ 2\pi a D_{20} k_{20} K_1(k_{20}a) &= 2\pi a D_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p}a)\end{aligned} \quad (2b)$$

Iz sistema jednačina (2b) mogu se odrediti konstante A i B:

$$\begin{aligned}A &= \frac{B k_{2p} I_1(k_{2p}a) \cdot \phi_{200}}{D_{20} k_{20} I_0(k_{20}a) K_1(k_{20}a) + D_{2p} k_{2p} I_2(k_{2p}a) K_0(k_{20}a)} \\ B &= \frac{D_{20} k_{20} K_1(k_{20}a) \cdot \phi_{200}}{D_{20} k_{20} I_0(k_{20}a) K_1(k_{20}a) + D_{2p} k_{2p} I_2(k_{2p}a) K_0(k_{20}a)}\end{aligned} \quad (2c)$$

Prema tome na površine petlje fluks termalnih neutrona će iznositi:

$$\phi_{2p}(a) = \frac{B_{2e} k_{2e} K_1(k_{2e} a) I_0(k_{2p} a) + \phi_{200}}{B_{2e} k_{2e} I_0(k_{2p} a) K_1(k_{2e} a) + B_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p} a) K_0(k_{2e} a)}$$

ili:

ili, posle odgovarajućeg sredjivanja:

$$\phi_{2p}(a) = \frac{\phi_{200} \frac{1}{B_{2p} k_{2p}} \frac{I_0(k_{2p} a)}{I_1 I_1}}{\frac{1}{B_{2p} k_{2p}} \frac{I_0}{I_1} (k_{2p} a) + \frac{1}{B_{2e} k_{2e}} \frac{K_0}{K_1} (k_{2e} a)} \quad (3)$$

Problem postaje znatno složeniji sa numeričko rešavanje u slučaju petlje sa većim brojem komponentata jer raste broj integracionih konstanti koje treba odrediti. Dalje komplikacije nastaju ako se u petlji nalaze šupljine kao i ako neka od komponentata sadrži fisilni materijal.

Veliku prednost, u slučaju ovakvih komplikovanih petlji, ima električna analogija procesa u petlji. Ovim metodom određivanja depresije fluksa na bazi dvogrupne difuzione teorije-modela "beskonačnog ravnog fluksa" postiže se veliko skraćanje numeričkog postupka i bolja preglednost u raču bez ikakvog gubitka tačnosti u odnosu na uobičajeni numerički postupak određivanja integracionih konstanti.

U ovoj metodi električne analogije fluks neutrona je analogan električnom potencijalu a protok neutrona sa električnom strujom. U tom slučaju otpor je određena veličina po Ohm-ovom zakonu.

Neperturbovani ravan fluks je elekromotorna sila izvora ϕ_{200} a padovi napona na pojedinačnim otporima koji reprezentuju elemente petlje predstavljaju odgovarajuće vrednosti neutronske fluksa na granici (površini) odgovarajuće komponente petlje. Raspodela neutrona unutar neke komponente se dalje određuje na bazi poznatog rešenja difuzione jednačine za tu komponentu.

Ovde će biti prikazana, radi ilustracije, ova metoda analogije sa električnim kolom na već obradjenom slučaju petlje oblika punog apsorbera ubačenog u reaktor; jed. (3). U slučaju složenije petlje, kao što je VISA, neće biti priloženo detaljno izvođenje jednačina za otpore, već će biti priloženi odgovarajući izrazi i ekvivalentno električno kolo sa izračunatim vrednostima otpora svih komponenata petlje (sl.2).

Depresija fluksa u materijalu okoline (aktivna zona RA) predstavljena je padom napona na "unutrašnjem otporu" izvora. Ovaj otpor se definiše, po Ohm-ovom zakonu, kao odnos depresije fluksa i struje neutrona na površini petlje; na analogan način određuje se i otpor petlje. Uvođenjem ovakvih "otpore" eliminišu se integracione konstante.

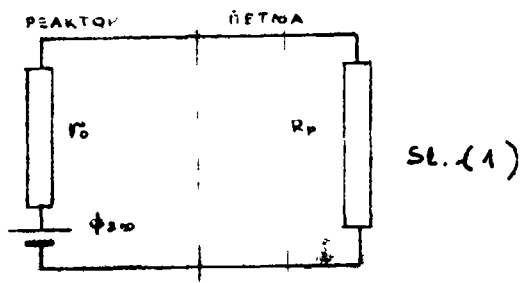
Unutrašnji otpor r_o zavisi samo od nuklearnih osobina i fizičkih parametara okoline, tj. aktivne zone RA.

$$r_o = \left(\frac{\Delta \Phi}{i} \right)_{r=a} = \frac{\phi_{2\infty} - \phi_{2a}(a)}{i_{2c}} = \frac{AK_o(k_{2c}a)}{2\pi a D_{2c} k_{2c} K_1(k_{2c}a)} = \frac{I_o(k_{2c}a)}{2\pi a D_{2c} k_{2c} K_1(k_{2c}a)} \quad (4)$$

Na sličan način, za otpor koji odgovara apsorberu, tj. u ovom uprošćenom slučaju, petlji, dobija se:

$$R_p = \left(\frac{\Delta \Phi}{i} \right)_{r=a} = \frac{\Phi_{2p}}{i_{2p}} = \frac{BI_o(k_{2p}a)}{2\pi a D_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p}a)} = \frac{I_o(k_{2p}a)}{2\pi a D_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p}a)} \quad (5)$$

Ekvivalentno električno kolo prikazano je na sl. (1)



Ako, u cilju nalaženja fluksa na površini apsorbera, tj. napona na R_p , na električno kolo, sl.1, primenimo II Kirchhoff-ov zakon, dobijemo:

$$U_p = \frac{\phi_{2p} R_p}{R_p + R_0} = \frac{\phi_{2p} \frac{1}{D_{2p} k_{2p}} \frac{I_0(k_{2p} a)}{I_1(k_{2p} a)}}{\frac{1}{D_{2p} k_{2p}} \frac{I_0(k_{2p} a)}{I_1(k_{2p} a)} + \frac{1}{D_{2p} k_{2p}} \frac{I_0(k_{2p} a)}{I_1(k_{2p} a)}} \quad (5)$$

Lako se može videti da su izrazi (3) i (5) identični, što znači da se primenom metode električne analogije ne gubi ništa od tačnosti u odnosu na uobičajeni tretman određivanja integracionih konstanti.

Pogodnost električne analogije je naročito velika kod petlji sa većim brojem elemenata. Za elemente oblika cevi mogu se izvesti izrazi za otpor na način sličan onome za apsorber oblika p-nog štapa [3].

$$R_p = \frac{I_0(k_{2p} a) I_1(k_{2p} b) + I_1(k_{2p} a) I_0(k_{2p} b)}{2\pi a b_{2p} [I_1(k_{2p} a) I_1(k_{2p} b) - I_0(k_{2p} a) I_0(k_{2p} b)]} \quad (6)$$

gde je a spoljašnji radijus apsorbera a b unutrašnji radijus. Treba napomenuti da je R_p izvedeno pod pretpostavkom da preko dupljine koju obuhvata cevasti element nema isticanja neutrona, ili da se u toj dupljini ne nalazi više nijedan apsorber. Ele- oblika cevi, koji obuhvataju u sebi druge komponente petlje, mo- gu se reprezentovati na nešto drukčiji način, tj. efekti apsor- pcije i transporta predstavljani su posebnim otporima R_a i R_t [3], a tim, što otpori koji predstavljaju apsorpciju su u električnom kolu vezani paralelno a oni koji predstavljaju efekat transporta serijski.

$$R_a = \frac{1}{2\pi a t} \left(\sum a + \frac{\beta^2}{3 \sum t} \right) \quad R_t = \frac{1}{2\pi a} \quad (6a)$$

gde su t debljina cevi a a srednji radijus. Može se kvalitativki dokazati iz izraza za ove otpore i način njihovog vezivanja, da se za "napon", tj. fluks i struju neutrona dobije isti izraz (kom- binacija Bessel-ovih funkcija) kao onaj dobijan na osnovu rešava- nja difuzione jednačine za cevasti element na osnovu koga je, primenom odgovarajućih graničnih uslova, dobijen izraz (6).

Što se tiče isticanja neutrona preko šupljina i uticaja ovog isticanja na raspodelu fluksa u petlji sa šupljinama vrlo je teško analitički rešiti ovaj problem. Ovaj uticaj isticanja neutrona preko šupljine zavisi u najvećoj meri od efektivne visine reaktora, tj. aksijalne komponente bucklinga i dimenzija šupljine. U skladu sa ovim, izvedena je semicempiriska formula (ref.3), koja neposredno daje vrednost otpora koji odgovara efektu isticanja u zavisnosti od aksijalne bucklinga i dimenzija šupljine:

$$R = \frac{1,41}{a-b} \beta^{-4,32} \cdot 10^8 \quad (7)$$

Dimenzije šupljine u petlji VISA i aksijalni buckling RA nalaze se u domenu vrednosti za kojima su vršeni odgovarajući eksperimenti na osnovu koje je izvedena jed. (7), te je primena ove formule na naš slučaj opravdana.

Obzirom da iz šupljine koju obuhvata prstenasti gorivni element, u našem slučaju, neutroni ističu, formula (6) nije primenjiva, a takođe, zbog velike apsorpcije, ni formule koje su primenjene za obloge od Al, Be i Zircaloy. 2. Zbog toga je, za naš slučaj, izvedena formula za otpor koji reprezentuje istovremeno apsorpciju i transport u gorivnom elementu i isticanja neutrona preko šupljine koje je, preko formule (7), predstavljeno sa R_g :

$$R = \frac{I_0(k_{2p} a) + \frac{2 \pi b D_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p} b) - I_0(k_{2p} b)}{2 \pi b D_{2p} k_{2p} K_1(k_{2p} b) + K_0(k_{2p} b)} K_0(k_{2p} a)}{2 \pi b D_{2p} k_{2p} K_1(k_{2p} b) + K_0(k_{2p} b)} \quad (8)$$

$$a 2 \pi a D_{2p} k_{2p} \left[I_1(k_{2p} a) - \frac{2 \pi b D_{2p} k_{2p} I_1(k_{2p} b) - I_0(k_{2p} b)}{2 \pi b D_{2p} k_{2p} K_1(k_{2p} b) + K_0(k_{2p} b)} \right] \quad (8)$$

Na šupljini u beskonačno visokom reaktoru ne može doći do promene neutronskog fluksa ukoliko šupljina ne sadrži neki apsorber. U slučaju reaktora sa beskonačnom visinom efekat šupljine na distribuciju fluksa zavisi samo od geometrije šupljine i apsorpcije u njoj. Newmarch [ref.4] je izveo analitičke izraze za depresiju fluksa na šupljini u zavisnosti od geometrije šupljine i osobina apsorbera koji se nalazi u njoj, samo za slučajeve kada šupljina sadrži apsorbere oblika šipke i cevi (cevi bez apsorpcije u njoj ili isticanja iz nje). Za slučaj da se u šupljini nalaze kombinacije (koncentričnih) apsorbera i drugih šupljina, analitički izraz bi bio veoma komplikovan. Takav slučaj je u električnoj analogiji lako rešiv. Koristeći formule izvedene u [ref.4] i definiciju otpora u električnoj analogiji izveden je izraz za otpor koji odgovara efektu geometrije šupljine. Ovaj izraz je zavisen samo od geometrije šupljine (spoljašnji i unutrašnji radijus) dok se zavisnost od apsorpcije elemenata u šupljini predstavlja kombinacijom odgovarajućih otpora u električnom kolu. Otpor koji odgovara uticaju geometrije šupljine na raspodelu termalnog fluksa vezuje se u električnom kolu serijski i dat je izrazom:

$$R = \frac{1}{\pi b} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{b}{a} - \frac{2}{\pi} \frac{b}{a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \right] \quad (9)$$

gde je a spoljašnji a b unutrašnji radijus šupljine.

Ukoliko petlja sadrži i fisilnu komponentu, brzi neutroni, koji se pojavljuju usled fisije u fisilnoj komponenti petlje, izlaze iz nje i usporavaju se u okolnjem materijalu. Deo ovih neutrona odlazi u reaktor (i smanjuje depresiju fluksa u okolini petlje, tj. pad napona na "otporu"

izvora"). Fluks ovih termalizovanih neutrona na površini petlje smanjuje depresiju termalnog fluksa na toj površini i predstavljen je izvorom napona ψ , vezanim u seriji sa R_0 , sa polaritetom, koji smanjuje ukupan napon između izvora $\phi_{2\infty}$ i otpora koji reprezentuju petlju al_2 . Smanjenje depresije na površini petlje ima za posledicu smanjenje depresije u fisilnoj komponenti petlje u istom odnosu.

U slučaju fisilne komponente u petlji, raspodela termalnih neutrona u okolini petlje data je izrazom

$$\phi_{20} = \phi_{2\infty} - A K_0(k_{20}r) + GS K_0(k_{10}r) \quad (8)$$

gde je S odnos termalnih i brzih neutrona na mestu u koje se ubacuje petlja (u našem slučaju centar reaktora). Fluks termalnih neutrona koji su nastali usporavanjem brzih, prema tome, je:

$$\phi_f = GS K_0(k_{10}a) \quad (9)$$

a odgovarajuća struja je:

$$i_f = GS 2\pi a D_{20} k_{10} K_1(k_{10}a) \quad (10)$$

Konstanta G se određuje iz uslova da je brza struja preko površine petlje jednaka proizvod termalne struje u fisilnu komponentu i faktora unožavanja fisilne komponente (u ovom uslovu zanemareni su gubici ~~neutronske~~ brzih neutrona na isticanju preko šupljina petlje i na apsorpciji u nefisilnim komponentama petlje koja je relativno vrlo mala)

$$2\pi a G D_{10} k_{10} K_1(k_{10}a) = \eta \cdot i_1$$

gde je i_1 struja termalnih neutrona u fisilnu komponentu petlje. Odavde je:

$$G = \frac{\eta \cdot i_1}{2\pi a k_{10} D_{10} K_1(k_{10}a)} \quad (11)$$

Prema tome jednačine (9) i (10) postaju

$$v_f = \frac{S K_0(k_{10}a) \cdot \eta \cdot i_1}{2\pi a k_{10} D_{10} K_1(k_{10}a)} = a \eta i_1 \quad (11a)$$

$$i_f = \frac{SD_{2c}}{D_{1c}} \eta i_1 = b \eta i_1 \quad /11b/$$

Struja i_f je struja koja ide sa površine petlje u reaktor i koja potiče od raspodele fluksa termalnih neutrona nastalih termalizovanjem brzih neutrona iz petlje, jed. /10/. U električnom modelu i_f prolazi kroz otpor r_o u suprotnom smeru od struje koja potiče od $\Phi_{2\infty}$ i smanjuje pad napona na r_o .

3. REZULTATI PRORAČUNA

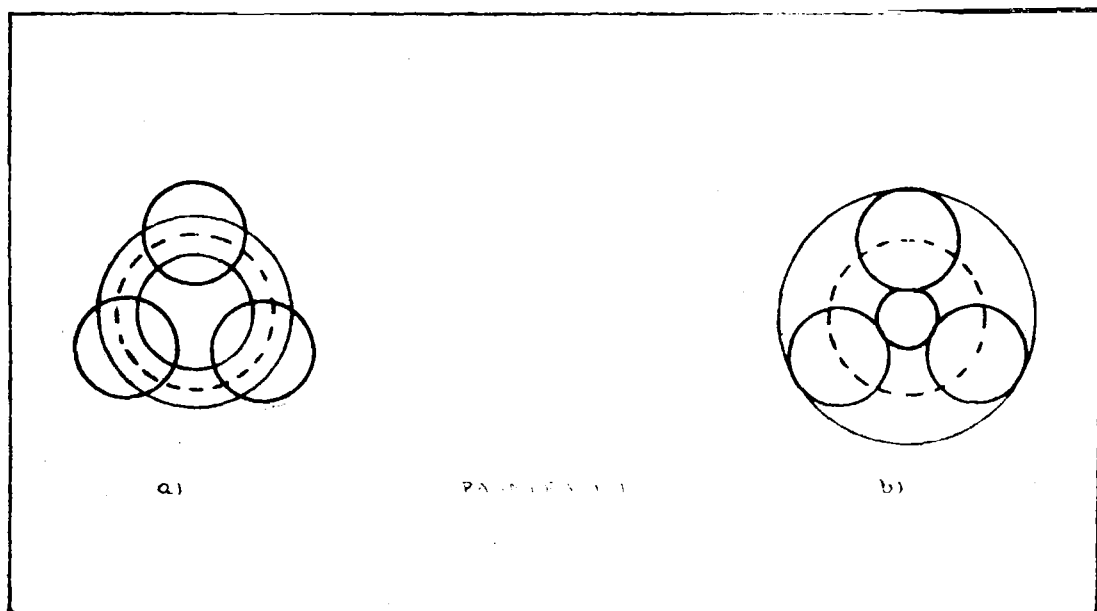
2.1 Izračunata je raspodela fluksa termalnih neutrona u elementima petlje VISA-1, koja sadrži fisilnu komponentu od UO_2 /2%/U-235/ i ubačena je u centralni vertikalni kanal reaktora RA. Takođe je izračunata srednja depresija fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti. Rezultati ovog računa prikazani su na dijagramu 4.

2.2 Sastav i dimenzije petlje VISA-1.

Dimenzije i vrsta materijala pojedinih komponenata petlje VISA-1 uzete su iz reference [5] kao i materijala koji je uz ovu referencu dohijen od načelnika Laboratorije 08.

Dimenzije pojedinih komponenata petlje priložene su na tabeli 1.

2.3 Nuklearni parametri za aktivnu zonu RA kao i fizički parametri reaktora kao celine, koji su neophodni za



Sl.3

ovaj proračun, dobijeni su iz lab. 09 i podatak 09-28-proračun RA), izveštaja o sličnim kineskim i ruskim reaktorima, dok se za neke parametre kao D_{1c} , D_{2c} i za aksijalnu i radijalnu komponentu bucklinga morao izvršiti proračun odnosno procena (za buckling) obzirom da se za tih podataka nije raspolagalo. Ovi podaci priloženi su na tabeli (2).

b) - Nuklearni podaci i fizički parametri za komponente petlje uzeti su u najvećoj meri iz ref. (1) i (2) dok su makroskopski presecci za Zircaloy 2 izračunati na osnovu sledećeg težinskog sastava:

element	Zr	Sn	H	P	O
tež. udio	0,9775	0,0150	0,0050	0,0015	0,0010

koji je uzet iz ref. (1). Makroskopski presecci za nefisilne komponente petlje VISA priloženi su na tabeli (3).

c) - Nuklearni podaci za gorivni element uzeti su iz ref. (1), pri čemu je, obzirom da su za apsorpciju usvojeni presecci koji odgovaraju neutronima brzine 2200 m/s, izvršena uobičajena korekcija sa $\sqrt{v}/2$, koja se primenjuje kod "1/v" apsorbera, vad i depunski, usled rezonantne apsorpcije u U-235 i U 23-8. Makroskopski presecci za gorivo i vrednost faktora umnožavanja goriva η priloženi su na tabeli (3).

T A B E L A 1. (Dimenzije komponentata petlje)

Gorivoča realnog oblika, predstavljaju tri pastile radijusa $r_p = 0,65$ cm, čija je ukupna površina $S = 3,982$ cm² a rastojanje centra pastile od centra trougla (koji sačinjavaju centri pastila) $r_0 = 1,977$ cm.

Na proračun je podataka gorivo oblika prstena i to iste površine $S = 3,982$ cm² i istog srednjeg radijusa kao r_0 (sl.33).

komponenta petlje	gorivo element	obloga goriva	vođna cev	izolaciona cev	zaštitna cev	pregradna cev	sigurnosna cev	kanal VK - 5
materijal	Al (24033)	La	s i r o n a l o y - 2					aluminijum
spoljašnji radijus (cm)	1,371	1,517	2,977	2,90	3,50	4,15	4,90	5,25
unutrašnji radijus (cm)	0,383	1,371	1,577	2,75	3,10	4,05	4,50	5,00
površina (cm ²)	1,982	1,320	1,273	2,663	8,294	2,576	11,812	4,783
debljina (cm)	0,988	0,146	0,10	0,15	0,40	0,10	0,40	0,15

Tablica 10

Podaci i parametri za skirnu zonu reaktora RA

Podatak	veličina	izvorište
Difuziona dužina L^2	154,2 cm ² 12,418 cm	05-88 (RA)
Starost τ	140,29 cm ²	
	$\sqrt{\tau}$ 11,844 cm	
Materijalni buckling k^2	15,47.10 ⁻⁴ cm ⁻² 0,0161 cm ⁻²	
Radijalna komponenta buck. α	3,325.10 ⁻² cm ⁻¹	Podaci za skirnu zonu RA
Aksijalna " β	2,289.10 ⁻² cm ⁻¹	Podaci za skirnu zonu RA
$k_2 = \sqrt{1/L^2 + \beta^2}$	0,0832 cm ⁻¹	Podaci za skirnu zonu RA
$k_1 = \sqrt{1/\tau + \beta^2}$	0,0870 cm ⁻¹	05-28 (RA)
Odnos termalnog i brzog neutr. fluksa u centru RA	$\beta = 0,806$	05-28 (RA)
Difuziona konstanta za brze neutrone D_1	1,7389 cm	Podaci za skirnu zonu RA
Difuziona konstanta za termalne neutrone D_2	1,1512 cm	Podaci za skirnu zonu RA

Tabela 3a

Maklearni podaci za gorivo UO_2 (24-U235)

Materijal	δ_a baza	δ_f baza	δ_s baza	η	$\sum_a$ (cm^{-1})	$\sum_{tr}$ (cm^{-1})
O	0,0005	-	4,2			
U-235	680,25	582,75	18			
U-238	683,75	0,0005	8			
U (24-U235)	683,25	11,75	8,04	1,763		
UO_2 (24-U235)	16,524	11,856	16,44	1,763	0,3981	0,7856

Gustina goriva u pastilama je $\rho = 10,8 \text{ g/cm}^3$ [5] i prema tome broja atoma goriva u cm^3 je $0,02409 \cdot 10^{24} (cm^{-3})$. U tabeli 3a dati su preseoci apsorpcije i fiksije za neutrone brzine 2200m/s [1] a presjek za rasejanje se odnosi na neutrone sa srednjom brzinom u spektru termalnih neutrona [1]. Makroskopski transportni presjek izračunat je preko jednačine (11c) [5]

$$D = \frac{1}{3 \left[\sum_a + \frac{1}{\lambda} (1 - \bar{\mu}_0) \right]} \quad (11c)$$

gde je $\bar{\mu}_0 = \frac{2}{3} \bar{\mu} = \frac{2}{3} \sum_a \mu_a = 0,3473$ je presjek apsorpcije za neutrone sa srednjom energijom u Maxwell-ovoj raspodeli, dobijen na osnovu podataka iz tabele 3a, korigovanih sa $\sqrt{\pi}/2$ kao i faktorima $f(U-235) = 0,981$ i $f(U-238) = 1,002$ koji se uvode zbog rezonantne apsorpcije u termalnoj oblasti.

Tabela 3b

Maklearni podaci za nefiksirane konstante goriva

podatak	B_0	A_1	izvorik - 2
$\sum_a (cm^{-1})$	0,00123	0,00001	0,00001
$\sum_{tr} (cm^{-1})$	0,77963	0,00001	0,3981

Konstanta k , potrebna za izračunavanje „otpora“, ne zavisi od toga da li su u izračun uzeti neutroni sa srednjom brzinom ili sa 2200m/s, te $\sum_a$ i $\sum_{tr}$ moraju biti obračunati na neutrone iste brzine.

Obzirom da je primenjena dvogrupna difuziona teorija preko električne analogije, koja je objašnjena u drugom delu ovog izveštaja, na osnovu podataka datih u tabelama 1, 2 i 3, izračunati su otpori koji predstavljaju pojedine komponente petlje kao i unutrašnji otpor izvora koji predstavlja reaktorsku sredinu. Vrednosti ovih otpora, njihov raspored u analognom električnom kolu, kao i vrednost struje povratne sprege usled umnožavanja u fisilnoj komponenti i napona V_g koji se usled umnožavanja pojavljuju na "unutrašnjem otporu" dati su na sl. 2.

Pad napona na otporu koji odgovara fisilnoj komponenti petlje je merilo termalnog fluksa na spoljašnjoj površini fisilne komponente koja je uprešćena predstavljena kao cev. Vrednost fluksa na unutrašnjoj površini cevi kao i u tačkama između spoljašnje i unutrašnje površine određuje se prema sledećoj formuli:

$$\begin{aligned} I_0(k_{2p}, r) &= \frac{2\pi b D_p k_{2p} I_1(k_{2p}, b) R_A - I_0(k_{2p}, b) K_0(k_{2p}, r)}{2\pi b D_p k_{2p} K_1(k_{2p}, b) R_A + K_0(k_{2p}, b)} \\ \Phi_{2p}(r) &= \Phi_{2p}(a) \frac{I_0(k_{2p}, a)}{I_0(k_{2p}, r)} \\ I_0(k_{2p}, a) &= \frac{2\pi b D_p k_{2p} I_1(k_{2p}, b) R_A - I_0(k_{2p}, b) K_1(k_{2p}, a)}{2\pi b D_p k_{2p} K_1(k_{2p}, b) R_A + K_0(k_{2p}, b)} \end{aligned} \quad (12)$$

gde je $\Phi_{2p}(a)$ vrednost fluksa na spoljašnjoj površini goriva. Obzirom da razlika fluksa na spoljašnjoj i unutrašnjoj površini goriva nije mala (kao, na primer, u reaktoru, doprinosi izračunavanje gubitaka neutrona putem izlivanja iz šupljine u fisilnoj komponenti) kao srednja vrednost fluksa se ne može uzeti sredina između vrednosti na spoljašnjoj i unutrašnjoj površini već je ona dobijena grafičkim putem iz izlaza:

$$\Phi_{2p} = \frac{\int_0^a \Phi_{2p}(r) 2\pi r dr}{(a^2 - b^2)\pi} \quad (13)$$

Greška dobijenih rezultata se ne može tačno odrediti ali se može proceniti obzirom na učinjene aproksimacije kao i na eksperimentalne podatke i proračune sa neke slične slučajeve.

Difuziona teorija je ustvari aproksimacija strože transportne teorije i ona važi utoliko manje ukoliko su jači apsorberi i manje dimenzije u pitanju. Ovde se greška pojavljuje ne toliko u vidu odstupanja od oblika distribucije neutronskog fluksa koji propisuje difuziona teorija, koliko u promeni konstante $k = \sqrt{3 \sum_t \cdot \sum_a}$ koja je dobijena na bazi difuzione teorije figuriše u izrazu za neutronski fluks.

Deriva je uzeo, radi lakšeg tretiranja, kao prsten sa ekvivalentnom apsorpcijom (tabela 1). Obzirom da depresija fluksa ne zavisi samo od ukupnog broja jezgara fisilne komponente (tj. ukupne apsorpcije) već i od geometrije, to se mora javiti izvesna greška, bez obzira što je geometrija prstena izabrana tako da najviše odgovara geometriji fisilne komponente u realnom slučaju. Sam račun za gorivni element ^{dimenzija} prema tabeli 1, izvršen je i račun za slučaj kada je srednji radijus kao i broj jezgara u prstenu isti kao u prethodnom slučaju ali je debljina prstena jednaka dijametru pastila, $(\phi_{1.3b}) + 1$, gustina goriva "manja" nego u realnom slučaju. Ovaj rezultat za srednju depresiju fluksa je veći od prethodnog za 2,2 % (što je razumljivo obzirom da je apsorber dosta jak i da postoji "zasenčenje" kod određivanja srednje depresije neutronskog fluksa i ukazuje da ni greška usled uzimanja prstena umesto pastila nije mnogo veća.

U računu je uzet i doprinos brzih neutrona iz fisilne komponente na termalni fluks u petlji i oko nje. Ovaj doprinos je nešto procenjen jer nisu uzeti u obzir gubici brzih neutrona na strujanje iz šupljina i njihova apsorpcija u nefisilnim komponentama petlje koja je vrlo mala. Efekti brze fisije i moderiranja neutrona u materijalima petlje

Šmanjila bi rezultat za depresiju ali se mogu uzeti kao zanemarljivi. Osim toga, primenjeni način za uračunavanje prinosa brzih neutrona nije u potpunosti zadovoljavajući u slučaju ubacivanja petlje u umnožavajuću sredinu (naročito kada je $\beta_c < \tau_c$) zbog promene „izvora“ u električnoj analogiji. U našem slučaju je bilo povoljnije da se uticaj brzih neutrona uzme u obzir što je i učinjeno. Sem ovih mogu se javiti odstupanja i zbog nedovoljno preciznog poznavanja aksijalnog buckling-a^{RA} (koji je samo procenjen) kao i zbog toga što difuziona teorija, koja je primenjena, važi striktno samo za slučaj homogenih reaktora dok fina distribucija fluksa u reaktoru u okolini petlje verovatno dovodi do izvesne greške. Na kraju, treba napomenuti da račun važi za petlju ubačenu u „hladni“ reaktor i da se situacija menja kada se u petlji razvije visoka temperatura.

Na osnovu ovog razmatranja i upoređivanja sa teoriskim i eksperimentalnim rezultatima u sličnim slučajevima procenjeno je da tačna vrednost ne odstupa od izračunate za više od $\pm 6\%$.

Rezultat računa za srednju depresiju fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti od $UO_2(2\%U^{235})$ petlje VISA-1, ubačene u centralni kanal VK-5 reaktora RA, na bazi difuzione teorije sa dve grupe neutrona, priložen je u vidu depresionog faktora DF, koji je odnos srednjeg fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti petlje i fluksa termalnih neutrona u kanalu VK-5 bez petlje

$$DF = \frac{\bar{\phi}_{2p}}{\bar{\phi}_{2\infty}} \cdot \frac{\phi_{2\infty}}{\phi_{VK-5}} = \frac{\bar{\phi}_{2p}}{\phi_{VK-5}} \quad (14)$$

gde je $\frac{\phi_{2\infty}}{\phi_{VK-5}} = 1,029$ odnos fluksa termalnih neutrona u centru reaktora bez petlje i bez kanala VK-5 prema fluksu u kanalu VK-5. Ovaj odnos izračunat je primenom metoda električne analogije, sl. 5.

Na osnovu računa, prikazanog šematski na sl. 2 dobijena je vrednost fluksa termalnih neutrona na spoljašnjoj površini fisilne komponente $\frac{\phi_{2p}(a)}{\phi_{2\infty}} = 0,6768$

Na osnovu ove vrednosti i jedn. (12) dobijena je distribucija fluksa termalnih neutrona u fisilnoj komponenti. Srednja vrednost neutronskega fluksa u fisilnoj komponenti dobijena je grafičkim integralenjem, jed. (13), preko ove raspodele. Na taj način određen je odnos srednjeg fluksa termalnih neutrona

u fisilnoj komponenti petlje prema fluksu u centru reaktora bez petlje i bez kanala VK-5:

$$\frac{\bar{\Phi}_{2p}}{\bar{\Phi}_{2\infty}} = 0,6388$$

te se dobija: $\frac{\bar{\Phi}_{2p}}{\bar{\Phi}_{2\infty}} \frac{\Phi_{2\infty}}{\Phi_{VK-5}} = 0,6388 \cdot 1,029 = 0,6573.$

Na osnovu ovog računa i izvršene procene greške srednja depresija fluksa u fisilnoj komponenti petlje VISA-1 je:

$$DF = 0,66 \pm 0,04$$

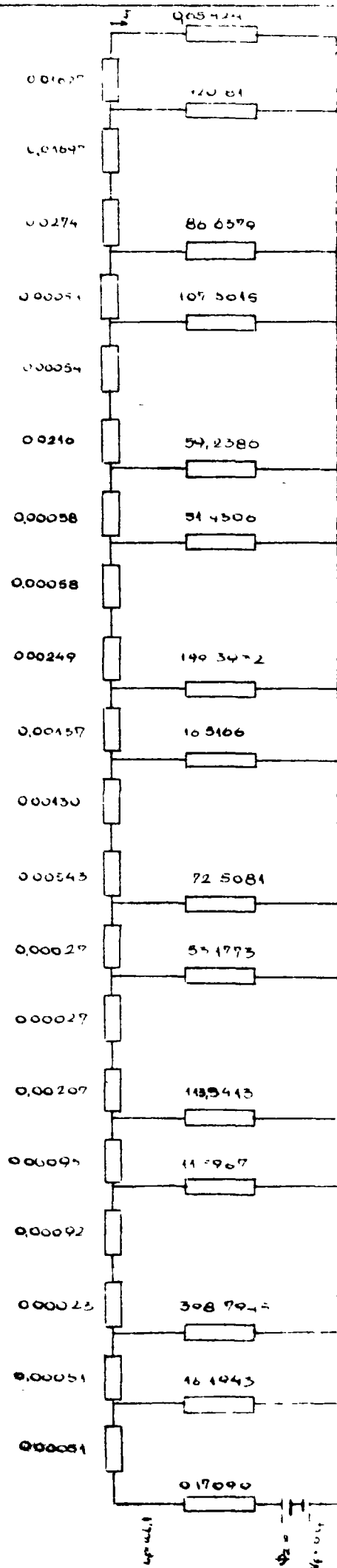
Korekcija zbog superponiranja makroskopske distribucije neutronskog fluksa u RA na raspodelu koja je dobijena po modelu "beskonačnog ravnog fluksa što se tiče raspodele fluksa u fisilnoj komponenti i od interesa je samo ako se želi znati raspodela u celoj petlji i njenoj bližoj okolini, sl.4 (što nije slučaj za petlje ubačene u necentralne kanale).

L I T E R A T U R A

1. Nuclear Engineering Handbook, H. Etherington, 1958.
2. Galanin, Teoriја jadernih reaktorov na teplovih neitronah.
3. AERE R/R 2418, D. Hiks, 1958.
4. J. Nuclear Energy, 1955, Vol 2, pp.52 to 58, D.A. Newmarch.
5. Izveštaj o radu grupe za izradu predprojekta petlje u Sacle-u i ostali materijali, M. Novaković.
6. K. Magreblan, Reactor Analysis.

S A D R Ž A J

1. Uvod	strana	1
2. Teprija		2
3. Resultati proračuna		10
4. Literatura		18



ПРИК

СБЛОГА ОД НЕПРИЛИЈУМА

ШУПЛИНА

ВОДЕЊА ЦЕВ

ШУПЛИНА

ИЗОЛАЦИОНА ЦЕВ

ШУПЛИНА

ЗАШТИТНА ЦЕВ

ШУПЛИНА

ПРЕГРАДНА ЦЕВ

ШУПЛИНА

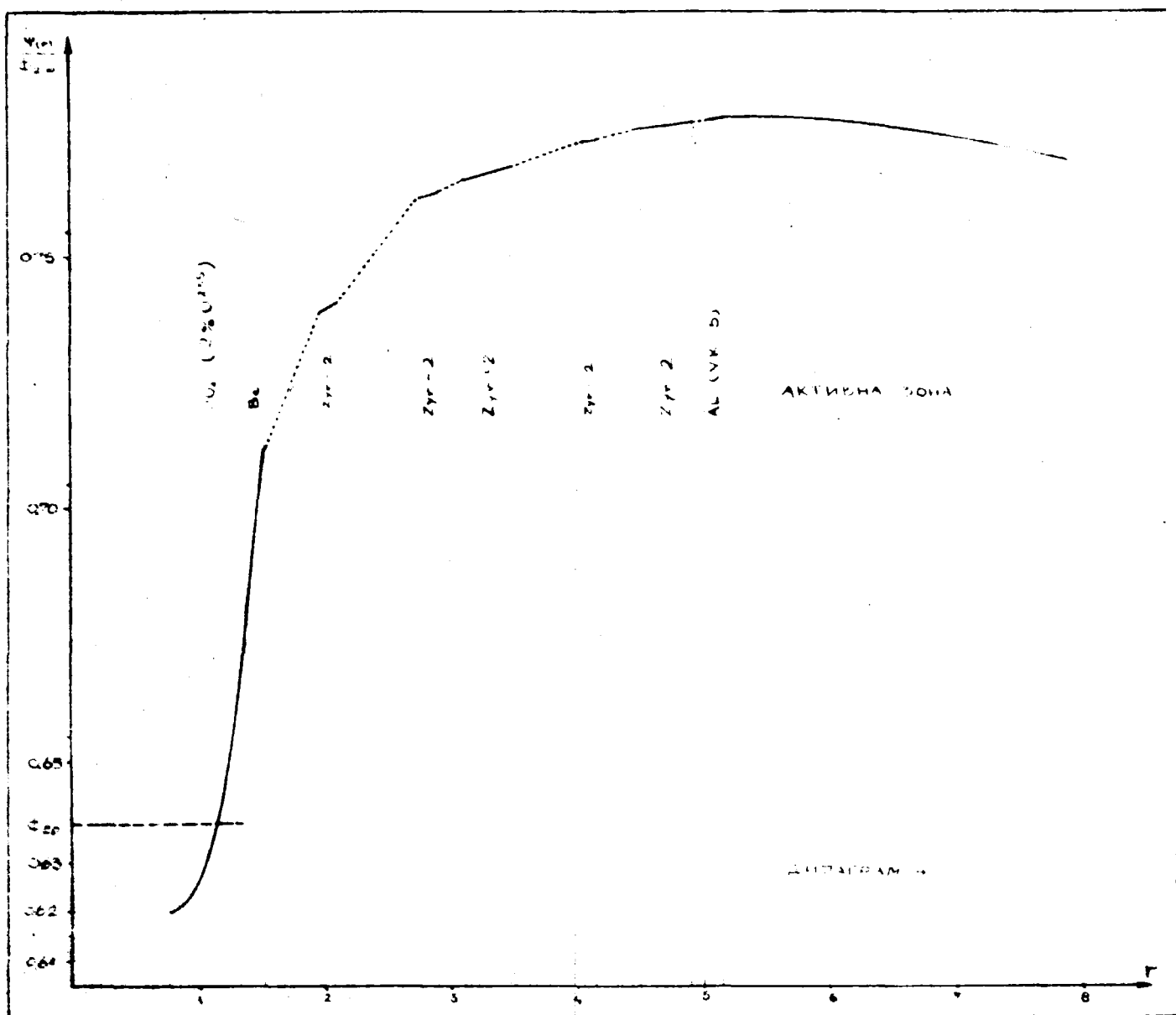
СИГУРНОСНА ЦЕВ

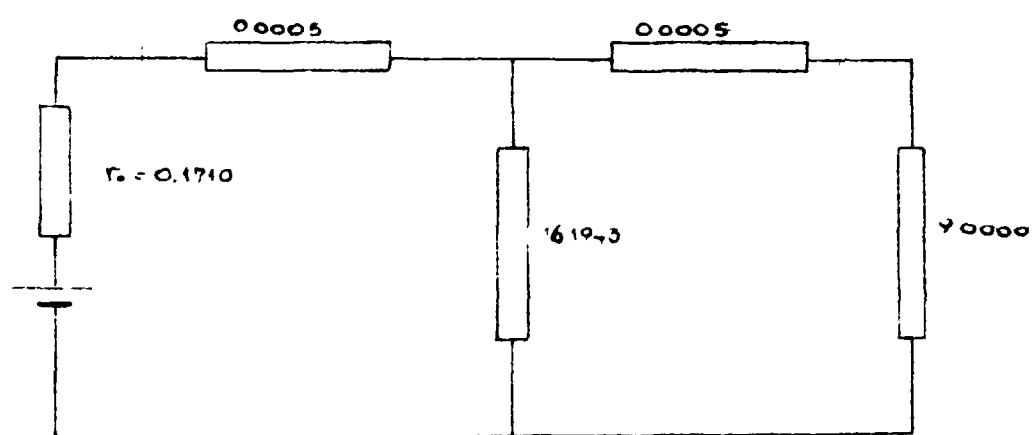
ШУПЛИНА

АК КОШУЉИЦА КАНАЛА УК-5

АКТИВНА ЗОНА КА

САИКА 2





АКТИВНА
ЗОНА 2А

Ав КОШУЉИЦА КАНАЛА УК-5

ШУПЉИНА У
КАНАЛУ УК-5

САИКА 5