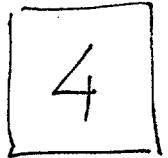


RA/103/RA/P3/09



CS06RA311

4/1



PROGRAM PROBNOG RADA

- a) Program probnog rada reaktora sa 80% obogaćenim gorivom na malim snagama
- b) Sadržaj programa probnog rada reaktora RA sa 80% obogaćenim gorivom na većim snagama

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD-VINČA

Projekat: Probni rad reaktora RA sa 80% bogaćenim gorivom

RA/102/RA/P3/03

PROGRAM PROBNOG RADA

- a) Program probnog rada reaktora sa 80% obogaćenim gorivom na malim snagama
- b) Sadržaj programa probnog rada reaktora RA sa 80% obogaćenim gorivom na većim snagama

Nosilac Projekta:

R. Martinc

Saradnici:

O.Šotić
M.Škorić
S.Cupać
V.Bulović
I.Marić
L.Marinkov

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Oktober 1980

S A D R Ž A J

Strana

P R E G L E D

1. U V O D	1
2. SPECIFIČNI USLOVI ZA IZVODJENJE "NULTOG" PROGRAMA NA REAKTORU RA SA ASPEKTA SIGURNOSTI	2
2.1. Stanje goriva	3
2.2. Kontrola kvaliteta disperzionog goriva	3
2.3. Snaga reaktora i specifično opterećenje goriva.....	3
2.4. Ozračivanje goriva	4
2.5. Stanje suda i teške vode	6
2.6. Stanje kontrolnih šipki	7
2.7. Uloga fona fotoneutrona i gamazračenja u re- aktoru RA	8
2.8. Podaci o korišćenju goriva identičnog gorivu reaktora RA sa 80% obogaćenim uranom na dru- gim reaktorskim sistemima	9
3. ANALIZA POČETNE KONFIGURACIJE JEZGRA REAKTORA RA SA SVEŽIM 80% OBOGAĆENIM URANSKIM GORIVOM	11
3.1. Računski postupak	11
3.2. Opis analiziranih konfiguracija jezgra	11
3.3. Rezultati	12
3.4. Izbor početne konfiguracije jezgra	16
4. PROGRAM MERENJA KARAKTERISTIKA REAKTORA RA SA SVE- ŽIM 80% OBOGAĆENIM URANSKIM GORIVOM NA MALIM SNA- GAMA	17
4.1. Kritični eksperiment	20
4.1.1. Pripreme	21
4.1.2. Izvodjenje kritičnog eksperimenta	24
4.2. Efikasnost sistema kontrolnih šipki reaktora RA	26
4.2.1. Odredjivanje antireaktivnosti standar- dnog apsorpcionog elementa (ref. kontrolne šipke)	26

	<i>Strana</i>
4.2.2. Kalibracija sistema kontrolnih šipki reaktora RA	28
4.2.3. Odredjivanje ugradjenog viška reaktivnosti	29
4.2.4. Probno ozračivanje aktivacionih elemenata	30
4.3. Odredjivanje koeficijenata reaktivnosti	30
4.3.1. Odredjivanje koeficijenta reaktivnosti D_2O	30
4.3.2. Odredjivanje reaktivnosti za karakteristične tehnološke kanale	31
4.3.3. Odredjivanje temperaturskog koeficijenta	32
4.4. Prostorna raspodela neutronskeg fluksa	33
4.4.1. Odredjivanje apsolutnog fluksa termalnih neutrona aktivacionom tehnikom ..	33
4.4.2. Odredjivanje prostorne raspodele neutronskeg fluksa u gorivu i vert. eksp. prostoru aktivacionom tehnikom	34
4.4.3. Odredjivanje intermedijarnog i brzog neutronskeg fluksa aktivacionom tehnikom	35
4.4.4. Odredjivanje prostorne raspodele fluksa u gorivu metodom aktivacije goriva	36
4.5. Odredjivanje prostorne raspodele snage u reaktoru RA	36
4.5.1. Nedestruktivno odredjivanje relativne količine U-235 u svežim gorivnim elementima	37
4.5.2. Odredjivanje prostorne raspodele snage merenjem prostorne raspodele sadržaja nekih fisijonih produkata u ozračenom gorivu reaktora RA	38
4.5.3. Odredjivanje prostorne raspodele snage na bazi prostorne raspodele fluksa	39
4.5.4. Kalibracija sistema za merenje i automatsko održavanje snage za uslove hladnog i nezatrovanog reaktora	40
4.6. Merenje spektra neutrona iz reaktora RA	40
4.7. Merenje hidrauličnih parametara reaktora RA za odredjene konfiguracije jezgra	40
Reference	41

Prilozi:

- Sl. 1. Histogram relativne količine U-235 u elementima goriva reaktora RA
- Sl. 2. Efekat "izgaranja" Cd-apsorbera u automatskom regulatoru AR-2
- Sl. 3. - Sl. 8. Konfiguracije jezgra No 1 do No 6
- Sl. 9. Raspodela apsolutnog fluksa termalnih neutrona za slučaj centralne i periferne konfiguracije pri ograničenju opterećenja od 18 KW/gorivni element
- Sl.10. Radijalna raspodela neutronskeg fluksa za perifernu konfiguraciju sa 44 tehnološka kanala
- Sl.11. Raspodela snage i temperature hladioca i unutrašnje košuljice goriva u tehnološkom kanalu, $P_{RA}=5,24$ MW, $P_K=145$ KW, protok $D_2O=3,58$ m³/h/kanal
- Sl.12. Proračunata i merena srednja raspodela snage u kanalima O808 i O305 (2% obogaćeno gorivo)
- Sl.13. Otvorenost ventila za koju je 20 pcm/s

Formulari:

- Formiranje jezgra No (1a i 1b)
- Eksperimenat približavanja kritičnosti (2a i 2b)

1. U V O D

Reaktor "RA" pušten je u rad decembra 1959. godine.

U periodu decembar 1959 - decembar 1976. u reaktoru "RA" korišćeno je isključivo 2% obogaćeno metalno uransko gorivo.

Od decembra 1976. godine započeto je sa redovnim korišćenjem 80% obogaćenog uranskog oksidnog disperzionog goriva, sa prelaznim režimom na bazi mešane rešetke 2% i 80% obogaćenog goriva.

Na reaktoru "RA" do sada nisu vršene ozbiljnije rekonstrukcije, tako da se i sada može koristiti opis reaktora kakav je dat u /1/.

Najveće izmene izvršene su u načinu rukovanja gorivom i promeni vrste goriva (pri neizmenjenoj konstrukciji gorivnog elementa).

Krajem marta 1979. godine usled ispoljenog stvaranja taloga na gorivnim elementima, odnosno lošeg stanja teške vode, OOUR Nuklearni reaktor "RA" obustavio je rad reaktora "RA".

U vezi sa tim naknadno je izdata zabrana na rad reaktora "RA" od strane Sanitarnog inspektora SR Srbije.

S obzirom na izvršene radove i pripreme do maja 1980 godine, odlučeno je da se zatraži skidanje zabrane na rad reaktora u cilju obnavljanja njegovog rada.

Usled stvaranja reljefnih taloga na gorivu vraćanje ovog goriva u konfiguraciju jezgra No XXXI, sa kojom je reaktor stao marta 1979. godine, bilo bi problematično, dok se vraćanjem samo onog dela goriva koje je (u pogledu taloga) u relativno dobrom stanju ne bi mogla da obezbedi kritičnost reaktora, tj. pokretanje i rad reaktora.

Prema tome ponovni start reaktora neće predstavljati jednostavno nastavak rada po dobro poznatom i definisanom režimu iz perioda pre zaustavljanja reaktora marta 1959. godine.

Ovaj radni režim, na bazi mešane rešetke 2% i 80% obogaćenog goriva /2,3/, odobren je na sednicama Komiteta za sigurnost IBK od februara i maja 1977. godine.

Umesto toga neophodno je da se izvede kompletan program merenja kritičnih parametara i drugih karakteristika reaktora "RA" na različitim snagama, i to sa početnom konfiguracijom jezgra formiranom isključivo od svežeg 80% obogaćenog goriva.

Sadržaj ovog dokumenta ("Nulti program") koncipiran je u skladu sa procedurom koja je bila uobičajena za odobravanje ovakvih zahvata, a u koju je uključeno razmatranje na Komitetu za sigurnost IBK i odobravanje od strane Direktora IBK. Shodno tome ovaj dokumenat sadrži i rezultate optimalizacionih i sigurnosnih analiza početne konfiguracije jezgra, koje bi inače delimično spadale u format izveštaja o sigurnosti reaktora "RA".

Medjutim, do skidanja zabrane za rad i izvodjenja "nultog" programa nije došlo u roku predviđenom za primenu Pravilnika o uslovima za lokaciju, izgradnju, probni rad ... ("Sl. list SFRJ", br. 25, str. 800, 1. jun 1979.), tj. do juna 1980. godine. Zbog toga je u okviru zahteva za dobijanje dozvole za probni rad pripremljen poseban izveštaj o sigurnosti reaktora "RA", a ovaj dokumenat se prilaže kao deo Programa probnog rada i to bez većih izmena u sadržaju, čime se objašnjava određeno dupliranje materijala izloženog u ovom dokumentu i u Izveštaju o sigurnosti reaktora "RA".

2. SPECIFIČNI USLOVI ZA IZVODJENJE "NULTOG" PROGRAMA NA REAKTORU "RA" SA ASPEKTA SIGURNOSTI

Početna konfiguracija jezgra biće formirana isključivo od svežeg goriva, medjutim u organizaciji i izvodjenju "nultog" programa na reaktoru "RA", u odnosu na bilo koji

nov reaktor, postoje određene razlike i specifičnosti.

2.1. Stanje goriva

Jedan od elemenata zabrane rada reaktora "RA" jeste stvaranje reljefnih depozita na gorivnim elementima i nedovoljno poznavanje stanja aluminijumske košuljice ispod ovih taloga.

Budući da će se početna konfiguracija jezgra reaktora "RA" formirati isključivo od novog svežeg 80% obogaćenog goriva to je ovaj element zabrane postao bespredmetan.

2.2. Kontrola kvaliteta disperzionog goriva

Disperziono gorivo karakterišu relativno velika odstupanja količine U-235 po jednom gorivnom elementu u odnosu na deklarisanu srednju vrednost. Proizvodjač goriva definisao je ova odstupanja za 80% obogaćeno gorivo sa $\pm 4,5\%$ /4/. Provera relativne količine U-235 predstavlja u slučaju disperzionog goriva važan element provere kvaliteta goriva.

Ova provera izvršena je za celu raspoloživu količinu 80% obogaćenog goriva primenom pasivnog gama emisionog postupka /5/.

Za manji broj elemenata provera je vršena i na bazi određivanja promene kritičnih parametara reaktora "RB". Rezultati su ilustrovani na histogramu na Sl. 1. Može se zaključiti da dobijeni rezultati uglavnom odgovaraju navodima proizvođača.

2.3. Snaga reaktora i specifično opterećenje goriva

Tokom izvodjenja eksperimenta određivanja kritičnih parametara reaktora sa planiranim konfiguracijama jezgra, snaga reaktora i specifično opterećenje goriva biće manje od 0,3% do nominalne vrednosti.

Tokom eksperimenta ozračivanja aktivacionih detektora i samog goriva (u cilju određivanja prostorne raspodele

snage i neutronskega fluksa) ova opterećenja biće manja od 2% nominalnih vrednosti.

Dopušteno nominalno opterećenje gorivnog elementa je 20 KW /4/.

Pri ovim opterećenjima goriva i planiranim vremenima rada reaktora "RA" tokom izvođenja "nultog" programa ne može se postići kritični toplotni fluks, niti znatnije podizanje temperature goriva.

2.4. Ozračivanje goriva

Rad goriva integrisan tokom celog "nultog" programa biće manji od 0,00004 MWd po jednom gorivnom elementu, tj. manji od 3 MWd/t, što je za faktor $1,5 \times 10^5$ manje od planiranog srednjeg izgaranja odloženog goriva (preko 450 000 MWd/t).

Grejanje goriva posle zaustavljanja reaktora, usled apsorpcije zračenja fisijih produkata, pri ovakvom stepenu ozračivanja goriva je tako malo da u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca ne može da dovede do bilo kakvog oštećenja goriva.

Za date uslove ozračivanja, aktivnost fisijih produkata u gorivu potiče pretežno od kratkoživećih izotopa. Zbog toga je izvršena procena aktivnosti gorivnog elementa koji će biti ozračen tokom eksperimenta sa najvećim neprekidnim radom reaktora u okviru "nultog" programa, a to je ozračivanje aktivacionih detektora i goriva u cilju određivanja raspodele neutronskega fluksa i snage.

Ovo ozračivanje trajaće jedan sat na snazi reaktora od oko 50 KW, pri čemu će najveće opterećenje gorivnog elementa biti oko 0,18 KW, odnosno najveći fluks termalnih neutrona u gorivu oko $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, što odgovara ozračivanju goriva od oko 0,7 MWd/t.

Inventar aktivnosti najznačajnijih fisijih produkata (sa aspekta zaštite okoline) proračunat je primenom postupka opisanog u /6/. U rezultatu proračuna dobijena je aktivnost (Ci) pojedinačnih izotopa na kraju svake od 5 kampanji, definisanih na sledeći način:

Tip kampanje	Radna	H l a d j e n j e			g o r i v a
Kampanja No.	1	2	3	4	5
Trajanje kampanje	1 čas	2,4 h	21,6 h	9 dana	10 dana
Vreme posle zaustavljanja reaktora	-	2,4 h	1 dan	10 dana	20 dana

Rezultati proračuna prikazani su na Tabeli 1.

Tabela 1. Aktivnost najznačajnijih fisisonih produkata u gorivnom elementu reaktora "RA" sa stepenom izgaranja od 0,7 MWd/t.

Izotop	K a m p a n j e				
	1	2	3	4	5
Kr-85M	3.12-001	2.15-001	7.34-003	1.62-017	8.36-034
Kr-87	1.76+000	4.77-001	3.68-006	2.76-057	4.32-114
Kr-88	1.30+000	7.18-001	3.42-003	2.07-026	3.31-052
Sr-89	4.47-003	4.47-003	4.41-003	3.90-003	3.40-003
Sr-90	2.71-005	2.71-005	2.71-005	2.71-005	2.70-005
Sr-91	6.70-001	5.64-001	1.20-001	2.27-008	7.69-016
Sr-92	2.26+000	1.20+000	4.15-003	9.85-028	4.29-055
Zr-95	4.67-003	4.67-003	4.62-003	4.20-003	3.78-003
Zr-97	3.93-001	3.57-001	1.48-001	2.20-005	1.23-009
Ru-103	3.71-003	3.70-003	3.64-003	3.11-003	2.61-003
Ru-105	2.19-001	1.51-001	5.16-003	1.13-017	5.87-034
Ru-106	4.98-005	4.98-005	4.97-005	4.89-005	4.80-005
Te-129M	3.61-005	1.82-004	4.73-004	4.01-004	3.26-004
I-131	1.65-002	1.63-002	1.51-002	6.96-003	2.94-003
I-132	8.01-003	3.48-002	5.05-002	7.37-003	8.67-004
I-133	3.59-001	3.32-001	1.62-001	1.25-004	4.38-008
I-134	2.68+000	2.22+000	2.01-007	7.74-082	1.58-164
I-135	1.06+000	8.26-001	8.86-002	1.80-011	3.05-022
Xe-133	9.48-004	5.45-003	3.11-002	1.93-002	5.19-003
Xe-135	3.81-002	1.87-001	2.35-001	3.71-008	4.68-016
Xe-138	1.04+001	3.44-002	1.65-024	1.08-247	0,00
Cs-134	0.00				
Cs-137	2.67-005	2.67-005	2.67-005	2.67-005	2.67-005
Cs-138	5.63+000	7.68-001	6.18-013	4.20-134	9.81-269
Ba-140	2.33-002	2.32-002	2.21-002	1.36-002	7.91-003
Ce-144	8.92-004	8.92-004	8.90-004	8.71-004	8.50-004
Snaga (Ci)	27.2	8.1	0.91	0.06	0.03
Snaga (kW)	50	0	0	0	0
Vreme (h)	1	2.4	22.6	9 dana	10 dana

U ovom slučaju proračun nije vršen radi procene kontaminacije okoline usled akcidentalnog oštećenja goriva jer je verovatnoća dešavanja ovakvog oštećenja tokom izvodjenja "nultog" programa praktično zanemarljiva, već zbog planiranja mera zaštite kod kasnijeg manipulisanja sa ozračenim gorivnim elementima.

Kao što se vidi iz Tabele 1. aktivitet goriva posle hladjenja od 10 dana pada za oko 400 puta. Aktivitet goriva neposredno posle zaustavljanja reaktora je za oko 200 - 300 puta manji od aktiviteta goriva ozračenog pod nominalnim uslovima /6/.

Aktivitet gorivnog elementa posle hladjenja od 10 dana je reda veličine desetina mCi, što dozvoljava rukovanje gorivom ručnim hvatačima i stokiranje u hali reaktora "RA" uz preduzimanje potrebnih mera kontrole i zaštite.

2.5. Stanje suda reaktora i teške vode

Stanje suda debljine 8 mm preliminarno je proveravano optičkim putem (korišćenjem periskopa). Indikativan je i podatak da je vertikalni eksperimentalni kanal VK-2, debljine zida 1 mm, još uvek hermetičan, i ako je u reaktor ubačen na samom početku rada krajem 1959. godine. U toku je provera stanja suda egzaktnijim metodama (korišćenje TV kamere i ultrazvučne tehnike)*. Bez konačnog zvaničnog izveštaja o rezultatima ispitivanja stanja suda ne bi se moglo tvrditi da stanje suda dozvoljava rad reaktora u sledećih 5 ili 15 godina, ali se na osnovu raspoloživih podataka može pouzdano zaključiti da tokom izvodjenja "nultog" programa u trajanju od 10 dana (pri relativno vrlo malim temperaturskim i radijacionim efektima) ne može da dodje do dehermetizacije reaktorskog suda.

Međutim, kada bi i došlo do akcidentalnog gubitka hladioca, praktično ne bi moglo da dodje do dehermetizacije gorivnih elemenata usled njihovog pregrevanja, tj. posledice

**Rezultati ove kontrole stanja suda naknadno su potvrdili pretpostavke o dobrom stanju suda.*

takvog akcidenta svele bi se na ograničeno kontaminiranje tehnoloških prostorija reaktora teškom vodom.

Teška voda biće prečišćena u jonoizmenjivačkoj koloni pre izvodjenja "Nultog" programa.

2.6. Stanje kontrolnih šipki

Merenjima i direktnim uporedjenjem funkcija efikasnosti kontrolnih šipki od dubine uranjanja za automatske regulatore AR-1 i AR-2, pre i posle zamene šipke AR-1 (1977. godine) pouzdano su odredjeni efekti "izgorelosti" Cd apsorpcionog elementa u kontrolnoj šipki AR-1.

Efikasnost šipke AR-1 u toku 17 godina rada pala je za oko 30%. Prema tome efikasnost šipke AR-2 u periodu decembar 1959 - mart 1979. umanjena je za oko 34%, dok je efikasnost relativno svežeg regulatora AR-1 opala do marta 1979. godine za oko 3%.

Kontrolne šipke kompenzacionog sistema (ručni regulatori) imaju manji prosečan stepen uronjenosti u odnosu na regulacione šipke, ali se zato regulatori KŠ-3, 4, 5 i 6 nalaze bliže centru reaktora. Neto efekat uslova ozračivanja ovih šipki ipak utiče na nešto manji stepen njihove izgorelosti u odnosu na automatske regulatore. Stepenn izgorelosti kompenzacionih šipki (KŠ-2 do KŠ-7) procenjuje se na oko 20%. Kontrolna šipka KŠ-1 zamenjena je pre 4 godine i njen stepen izgorelosti procenjuje se na oko 4%.

Sigurnosne šipke su u radnim uslovima van aktivne zone pa se njihovo izgaranje može zanemariti.

Srednji stepen umanjenja efikasnosti svih 9 šipki kompenzacionog i regulacionog sistema usled "izgaranja" kadmijuma procenjuje se na oko 20%.

Prema tome, prilikom vršenja procene ugradjenog viška reaktivnosti i efikasnosti sistema kontrolnih šipki za analizirane konfiguracije jezgra u okviru "nultog" programa, proračunate vrednosti efikasnosti sistema potpuno uronjenih kontrolnih šipki treba umanjiti za oko 20%.

Opisani efekti ilustrovani su na Sl. 2. Kalibraciona kriva automatskog regulatora AR-1 pre zamene ovog regulatora, u potpunosti se poklapa sa krivom automatskog regulatora AR-2.

2.7. Uloga fona fotoneutrona i gama zračenja u reaktoru RA

Za razliku od uslova za izvodjenje "nultog" programa na novom (neozračenom) reaktorskom sistemu, u reaktoru RA postoji veoma intenzivan fon gama zračenja.

U okviru izvršenih priprema "nultog" programa izmereno je da "snaga" reaktora (sa D_2O ali bez goriva) iznosi 1,9 KW. Merenje je izvršeno standardnom mernom opremom reaktora RA.

Primenom aktivacione tehnike (velike Au folije i ozračivanje u vremenu od 2 dana) nije se mogao utvrditi merljivi fon fotoneutrona.

U istim eksperimentalnim uslovima primenjena su i dva BF_3 "Start-up" kanala. Ustanovljeno je da odnos broja impulsa merenih sa BF_3 kolonom sa Cd oblogom i bez Cd obloge iznosi oko 0,8.

Gornji rezultati ukazuju na mogućnost postojanja određenog fona fotoneutrona, ali i na veoma veliki fon gama zračenja i veliki odnos intenziteta gama zračenja prema neutronskom zračenju. Ovi rezultati su mogli biti očekivani, bar ako se uzme u obzir poznati izotopni sastav konstrukcionih materijala u reaktoru i poznatih kontaminanata (pre svega Co).

Visoki gama fon i veliki odnos gama i neutronskog fona u principu predstavljaju nepovoljne uslove za vršenje kritičnih eksperimenata, kako za primenu standardne tehnike ekstrapolacije kritičnog nivoa D_2O (uz korišćenje neutronskog izvora i BF_3 kanala), tako i za primenu standardne kontrolno-merne opreme reaktora RA po rutinskoj proceduri.

Zbog toga će za izvodjenje prvog (u nizu) eksperimenata približavanja kritičnosti biti dosledno korišćena standardna tehnika sa BF_3 brojačima neutronskim izvorom, ali će se glavno težište u pogledu obezbeđenja sigurnosti dati na korišćenje standardne kontrolno-merne opreme reaktora RA, uz primenu specijalnog postupka stepenastog dizanja nivoa D_2O . Ovaj postupak razvijen je na principu da perioda reaktora pri dos-

tizanju i eventualnom prevazilaženju kritičnog nivoa D_2O , u momentima prolaženja nivoa snage "prepoznatljivog" od kontrolno-mernog sistema RA i operatora RA (5 KW) i dostizanja nivoa "sigurnosne zaštite" (100 KW), ne bude manja od 18 s.

2.8. Podaci o korišćenju goriva identičnog gorivnim elementima reaktora RA sa 80% obogaćenim gorivom na drugim reaktorskim sistemima

Za razliku od kritičnog eksperimenta na reaktoru RA sa 2% obogaćenim gorivom iz 1959. godine, za predstojeći kritični eksperiment sa 80% obogaćenim gorivom nema referentnog reaktora.

Za 2% obogaćeno gorivo referentni reaktorski sistem bio je kineski reaktor TVRS /8/. Prema raspoloživim podacima kineski reaktor nije koristio i ne koristi visokoobogaćeno gorivo.

Prema tome, izbor i karakteristike početne konfiguracije jezgra reaktora RA sa svežim 80% obogaćenim gorivom određene su proračunima.

U orijentacione svrhe korišćeni su podaci sa sledeća tri reaktorska sistema:

a) Reaktor TVRS Instituta za teorijsku i eksperimentalnu fiziku u Moskvi

Parametri početne konfiguracije jezgra sa 80% obogaćenim gorivom određeni su teorijskim putem /10/. Optimalizacione analize obuhvatile su tri konfiguracije jezgra (centralna, srednja i periferijska).

Optimizacija je vršena isključivo za početne uslove, tj. za sistem sa svežim, hladnim i nezatrovanim gorivom.

Reaktor TVRS počeo je rad sa 80% obogaćenim gorivom 1964. godine posle dvogodišnjih priprema. Izabrana je periferijska početna konfiguracija sa 52 tehnološka kanala i 9 elemenata goriva po kanalu (ukupno 468 elemenata). Reaktor sada radi sa centralnom konfiguracijom od 64 kanala sa po 9 elemenata u kanalu.

Pored sličnosti (isto gorivo, korak rešetke i moderator) između reaktora RA i TVRS u Moskvi ima određenih raz-

lika, dovoljnih da se ovaj reaktor ne može koristiti kao referentni kod planiranja i izvođenja "nultog" programa na reaktoru RA, a to su: različiti broj i raspored vertikalnih eksperimentalnih kanala i kontrolnih šipki, razlike u bočnom i aksijalnom reflektoru, znatno lošiji izotopski sastav teške vode i dr. Međutim, navedeni podatak o početnoj konfiguraciji jezgra koristan je u orijentacionom smislu.

b) Reaktor RB u Vinči

Ni ovaj sistem nije referentni zbog razlika u dimenzijama suda reaktora, vrsti i dimenzijama reflektora i dr. Efekat ovih razlika je veći od grešaka u vršenju proračuna, pa se određivanje optimalne početne konfiguracije jezgra reaktora RA mora izvršiti proračunskim putem. Izmerene vrednosti kritičnih parametara su međutim korisne kao orijentacioni podaci. Sem toga reaktor RB nezamenljiv je za eksperimentalno određivanje mikroparametara i nekih posebnih efekata.

c) Reaktor RA u Vinči

Podaci o dosadašnjem korišćenju 80% obogaćenom gorivu u reaktoru RA ne mogu biti korišćeni kao referentne vrednosti za predstojeći "nulti" program, jer je umesto "nultog" programa prilikom uvođenja visokoobogaćenog goriva u reaktor RA (marta i decembra 1976. godine) izvršen program merenja odziva reaktora RA sa 2% obogaćenim gorivom na perturbacije malim količinama 80% obogaćenog goriva u pogledu reaktivnosti i prostornih raspodela neutronskog fluksa i snage /2/, na "nultoj" i većim snagama. Međutim, dvogodišnja uspešna eksploatacija 80% obogaćenog goriva u režimu mešane rešetke 2% i 80% obogaćenog goriva ukazala je na korektnost primenjenog računskog postupka (opisanog u 3.1) /2,3,11,12/, kakav je primenjen i u slučaju analiza nove početne konfiguracije jezgra reaktora RA sa svežim 80% obogaćenim uranskim gorivom.

3. ANALIZA POČETNE KONFIGURACIJE JEZGRA RA SA SVEŽIM 80% OBOGAĆENIM URANSKIM GORIVOM

3.1. Računski postupak

Parametri rešetke računati su /13/ kombinacijom programa TER /14/ i VESTERN /15/. Proračun kritičnosti i raspodela fluksa i snage vršen je na bazi primene standardne dvogrupne difuzione teorije primenom programa HORA /2/ za aksijalnu i radijalnu geometriju. Za svaku aktivnu zonu unosi se posebna vrednost "perpendikularnog" buckling-a, što omogućava (u okviru odgovarajuće iteracione procedure) korektniju interpretaciju realne dvodimenzionalne situacije, nego u slučaju jednostavne primene principa razdvajanja varijabli.

Uobičajena raspodela materijalnih zona obuhvata do 11 radijalnih i do 16 aksijalnih zona.

U slučaju potrebe za parametarskim analizama reaktora RA sa većim brojem materijalnih zona, opisani računski postupak pogodniji je od postupka na bazi primene metoda konačnih razlika tipa "20-GRAND".

3.2. Opis analiziranih konfiguracija jezgra reaktora RA dat je u Tabeli 2, kao i na Sl. 3-8.

Tabela 2.

Jezgro No	Konfiguracija	Broj	Broj	Broj "semikanala"
		kanala NK	elemenata NE	u centr. reflekt. NG
1	Centralna	32	10	0
2	"	36	10	0
3	"	44	10	0
4	Periferijska	36	10	8
5	"	44	10	8
6	"	48	10	8

3.3. Rezultati

Proračuni su vršeni za hladan nezatrovan reaktor i vruć ravnotežno zatrovan reaktor bez kontrolnih šipki. Za jezgra No 3 i 5 vršen je proračun hladnog i nezatrovanog reaktora sa potpuno uronjenim kontrolnim šipkama (izuzev sigurnosnih). Efekat kontrolnih šipki računat je na bazi koncepta superćelije, odnosno kontrolisane zone, sa odnosom gorivo - kontrolne šipke 5:1.

Proračun je vršen sa ciljem da se odredi konfiguracija jezgra sa najvećim fluksom (intenzitetom snopova) termalnih neutrona u vertikalnom i horizontalnom eksperimentalnom prostoru reaktora RA. Pri tome su uvažavana sledeća primarna ograničenja:

- Najveće dopušteno opterećenje gorivnog elementa od 18 KW (opterećenje iz /4/ umanjeno za 10%).

- Ukupna antireaktivnost sistema potpuno uronjenih kontrolnih šipki (izuzev sigurnosnih) mora biti najmanje za faktor 2 puta veća od ugrađene reaktivnosti.

Ovo drugo ograničenje odnosi se na hladan nezatrovan reaktor, jer je u njemu ugrađena reaktivnost veća nego u slučaju reaktora u vrućem i ravnotežno zatrovanom stanju.

Na tabeli 3. prikazani su sledeći rezultati proračuna:

- ρ (pcm) - Ugrađena reaktivnost (bez kontrolnih šipki)
- $FFA = P_{el}/P_{el,max}$ - Odnos srednjeg prema maksimalnom toplotnom opterećenju u tehnološkom kanalu
- $FFR = P_k/P_{k,max}$ - Odnos srednjeg prema maksimalnom toplotnom opterećenju kanala u reaktoru
- $FF = FFA_x FFR$ - Odnos srednjeg prema maksimalnom toplotnom opterećenju gorivnog elementa u reaktoru
- PRA = Snaga reaktora u kome je maksimalno toplotno opterećenje jednog gorivnog elementa 18 KW
- ϕ_{max} - Maksimalna vrednost fluksa termalnih neutrona u reaktoru čija je snaga PRA (za hladan nezatrovan reaktor ϕ_{max} odgovara snazi reaktora od 40 KW)
- $\phi(8)$ - Srednja vrednost fluksa termalnih neutrona za kanale VK1-4 i VK6-9
- $\phi(s)$ - Vrednost fluksa termalnih neutrona na površini suda

reaktora koja je proporcionalna sa intenzitetom neutronskog snopa u horizontalnim eksperimentalnim kanalima

ϕ (VKG) - Vrednost fluksa termalnih neutrona u vertikalnim kanalima u grafitnom reflektoru.

Visina moderatora u svim računskim slučajevima je 1700 mm.

Sve vrednosti neutronskog fluksa odgovaraju maksimumu u aksijalnoj raspodeli fluksa.

Smanjenje broja gorivnih elemenata u tehnološkom kanalu sa 11 na 10 nije neposredno rezultat optimizacije početne konfiguracije jezgra (sa svežim gorivom), već je rezultat preliminarne analiza režima ravnotežnog izgaranja, kao i praktičnih potreba za unifikacijom šeme izmene (aksijalnog transfera) goriva.

Rezultati proračuna efikasnosti potpuno uronjenih kontrolnih šipki (bez sigurnosnih) dati su na Tabeli 4.

Tabela 4.

Jezgro No	ρ (pcm)	$\rho_{k\check{s}}$ (pcm)	$\Delta\rho = \rho_{k\check{s}} - \rho$ (pcm)	$\Delta\rho \cdot 0,8^*$ (pcm)	$\frac{\Delta\rho \cdot 0,8}{\rho}$
3	16900	-13000	-29900	-23900	1,41
5	11820	-14900	-26720	-21400	1,81

*Efikasnost sistema kontrolnih šipki umanjena zbog "izgaranja" Cd apsorbera.

Kao što se vidi iz Tabele 4. proračun sistema sa potpuno uronjenim kontrolnim šipkama vršen je za po jedan slučaj centralne i periferijske konfiguracije jezgra.

Treba napomenuti da je za oba osnovna tipa početna konfiguracija jezgra karakteristično povećavanje kapaciteta (antireaktivnosti) sistema kontrolnih šipki pri smanjenju broja tehnoloških kanala u jezgru i pri konstantnom broju gorivnih elemenata po kanalu. Smanjivanjem broja elemenata po kanalu smanjio bi se i kapacitet sistema kontrolnih šipki.

Iz podataka na Tabeli 4. može se zaključiti da je kod konfiguracije jezgra No 3. (44 TK u centralnoj konfiguraciji) kapacitet sistema kontrolnih šipki manji od 150% od ugradjenog viška reaktivnosti, i da zbog toga jezgro No 3 formalno ne zadovoljava jedan od sigurnosnih kriterijuma za formiranje početne konfiguracije, dok bi jezgro No 2. u tom pogledu bilo povoljno. Iz istih razloga za slučaj periferne konfiguracije najpovoljnije je bilo jezgro No 5. (44 TK).

U proračunu efikasnosti sistema kontrolnih šipki za perifernu konfiguraciju (jezgro No 5) propušteno je vršenje korekcije uticaja kontrolnih šipki na centralni reflektor, koji takodje spada u kontrolisano područje. Na taj način efekat kontrolnih šipki je u izvesnoj meri podcenjen, što ne menja osnovne zaključke u pogledu zadovoljavanja sigurnosnih kriterijuma.

Sem na tabelama 3. i 4. rezultati proračuna prikazani su i na Sl. 9, 10 i 11.

Na Sl. 9. prikazane su radijalne raspodele fluksa termalnih neutrona za dve osnovne konfiguracije jezgra (jezgra No 2 i No 5) u vrućem i zatrovanom stanju i sa maksimalnim opterećenjem goriva od 18 KW/element.

Na Sl. 10 data je raspodela fluksa termalnih neutrona u reaktoru sa periferijskom konfiguracijom jezgra (jezgro No. 5) u hladnom i nezatrovanom stanju i pri snazi reaktora od 40 KW.

Iz podataka na Tabeli 3. i na Sl. 9 i 10, vidi se da relativne raspodele fluksa termalnih neutrona u vrućem zatrovanom i hladnom nezatrovanom reaktoru nisu identične i da odnos maksimalnih vrednosti fluksa nije jednak odnosu snaga reaktora. Uračunavanjem efekta kontrolnih šipki ove razlike bi se povećale.

Na Sl. 11 prikazane su aksijalne raspodele snage, kao i temperature hladioca i unutrašnje košuljice goriva za vruć i ravnotežno zatrovan reaktor sa konfiguracijom jezgra No.5. Snaga reaktora je 5,24 MW, snaga kanala 145 KW (najoptereće-

TABELA 3. Snaga i reaktivnost reaktora, toplotno opterećenje goriva i neutronske fluks u vrućem ravnotežno zatrovanom i hladnom nezatrovanom reaktoru

Jezgro No	Stanje	ρ (pcm)	Odnos srednjeg i maksimalnog opterećenja			P_{RA} (MW)	Fluks termalnih neutrona			
			FFA	FFR	FF		ϕ max	ϕ (8)	ϕ (s)	ϕ (VKG)
1	Vruće	8500	0,812	0,833	0,676	3,89	$8,7 \times 10^{13}$	$4,8 \times 10^{13}$	$2,3 \times 10^{13}$	$1,3 \times 10^{13}$
	Hladno	12010				0,04	$9,8 \times 10^{11}$			
2	Vruće	10500	0,809	0,821	0,664	4,30	$8,6 \times 10^{13}$	$4,9 \times 10^{13}$	$2,6 \times 10^{16}$	$1,4 \times 10^{13}$
	Hladno	14100				0,04	$8,8 \times 10^{11}$			
3	Vruće	13600	0,815	0,786	0,641	5,00	$8,4 \times 10^{13}$	$4,8 \times 10^{13}$	$2,7 \times 10^{13}$	$1,6 \times 10^{13}$
	Hladno	16900				0,04	$7,4 \times 10^{11}$			
4	Vruće	4600	0,810	0,848	0,680	4,40	$1,0 \times 10^{14}$	$5,5 \times 10^{13}$	$3,3 \times 10^{13}$	$1,85 \times 10^{13}$
	hladno	7500				0,04	$1,0 \times 10^{12}$			
5	Vruće	8600	0,807	0,815	0,658	5,21	$1,1 \times 10^{14}$	$5,4 \times 10^{13}$	$3,4 \times 10^{13}$	$1,96 \times 10^{13}$
	Hladno	11820				0,04	$8,6 \times 10^{11}$			
6	Vruće	10300	0,809	0,800	0,647	5,59	$1,1 \times 10^{14}$	$5,3 \times 10^{13}$	$3,4 \times 10^{13}$	$2,02 \times 10^{13}$
	Hladno	13200				0,04	$7,9 \times 10^{11}$			

niji kanal) i maksimalno opterećenje gorivnog elementa 18 KW. Termički proračun je vršen na osnovu prilaza prikazanog u /13/. Ulazni parametri su: ulazna temperatura hladioca 30°C i brzina protoka hladioca $3,58 \text{ m}^3/\text{h}$. Ovde treba napomenuti da će realni protok hladioca biti veći i temperature hladioca i goriva niže, jer gore navedena vrednost odgovara protoku hladioca (kroz kanale sa većim protokom hladioca) u reaktoru sa punom konfiguracijom jezgra (84 TK) pri radu pumpe sa 1500 o/minut. Medjutim, hidraulički proračun za jezgro sa 44 kanal nije vršen, a opšti protok hladioca biće meren tokom realizacije "nultog" programa.

Iz rezultata prikazanih na Sl. 11 vidi se da je rad pri maksimalnoj snazi kanala od 145 KW (maksimalnom opterećenju goriva od 18 KW/element) sa 10 elemenata goriva po kanalu moguć pri protoku hladioca od $3,58 \text{ m}^3/\text{h}$ i bez uticaja kontrolnih šipki. Očekuje se veći protok hladioca kroz kanale u jezgru sa 44 TK.

Uključivanje proračuna temperaturskog režima u analizu početne konfiguracije jezgra bilo je neophodno, iako se radi o "nultom programu, jer se izbor najpovoljnije početne konfiguracije mora vršiti za realne radne uslove, pri kojima se vrši "proizvodnja" neutrona, a to su uslovi vrućeg i zatrovanog stanja sa primenjenim primarnim ograničenjima u pogledu toplotnog i temperaturskog režima.

Ovde treba napomenuti da prisustvo delimično uronjenih kontrolnih šipki povećava odnos $P_{\text{max}}/\bar{P}$ u tehnološkom kanalu /12/. Ovaj efekat se samo delimično umanjuje određenim stepenom odgovarajućeg izravnavanja snage u radijalnom pravcu.

Efekat delimično uronjenih kontrolnih šipki biće uračunat prilikom konačnog određivanja nominalne snage reaktora sa izabranom početnom konfiguracijom jezgra, a u okviru programa eksperimenata na većim snagama.

3.4. Izbor početne konfiguracije jezgra

Na osnovu gore opisanih rezultata može se zaključiti sledeće:

a) Izbor najpovoljnije početne konfiguracije jezgra vršen je za centralnu i perifernu konfiguraciju, za radne uslove vrućeg i ravnotežno zatrovanog reaktora i uz uvažavanje primarnih i drugih ograničenja i zahteva u pogledu sigurnosti /4/ i /7/, sa ciljem da se optimalno zadovolje potrebe korisnika neutronskog fluksa u vertikalnom eksperimentalnom prostoru i korisnika neutronskih snopova iz horizontalnih eksperimentalnih kanala. U te svrhe analizirano je ukupno 6 konfiguracija jezgra.

b) Analiza je pokazala da prednost ima periferna konfiguracija sa 44 tehnološka kanala sa po 10 gorivnih elemenata po kanalu i sa centralnim reflektorom površine 9 elementarnih ćelija.

c) Centralna konfiguracija podesna je samo za slučaj potrebe da reaktor radi u toku prvog dela prelaznog režima (6-8 meseci) uz maksimalnu uštedu goriva. U tom slučaju osnovne zahteve sigurnosti zadovoljila bi konfiguracija NO 2 (36 TK).

d) U okviru planiranog "nultog" programa kompletna merenja izvršila bi se samo za perifernu konfiguraciju, dok bi za centralnu konfiguraciju bio izveden samo program odredjivanja kritičnih parametara (nivoa D_2O).

4. PROGRAM MERENJA KARAKTERISTIKA REAKTORA RA SA SVEŽIM 80% OBOGAĆENIM GORIVOM NA MALIM SNAGAMA

Radni naziv za ovaj program je "Nulti" program RA, jer se izvodi na malim snagama reaktora RA, na kojima je verovatnoća za dešavanje akcidenata sa ozbiljnim posledicama svedena na najmanju moguću meru (tačke 2.3 i 2.4).

Ostvarenjem ovog programa obezbedjuje se dobijanje dela ključnih podataka o sigurnosti i ekonomičnosti reaktora RA sa početnom konfiguracijom jezgra. Drugi deo ovih podataka dobija se ostvarenjem programa merenja parametara reaktora na većim snagama.

Osnovne karakteristike reaktora RA sa početnom konfiguracijom jezgra sa svežim 80% obogaćenim uranskim gorivom znatno se razlikuju od karakteristika reaktora posle dostizanja režima ravnotežnog izgaranja (posle prelaznog režima od nekoliko godina). Zbog toga je "nulti" program usmeren pre svega na određivanje parametara od značaja za sigurnost reaktora sa početnom konfiguracijom jezgra.

Merenje eksploatacionih karakteristika reaktora je stvar periodičnog rutinskog određivanja ovih parametara u cilju stavljanja na raspolaganje korisnicima reaktora. Ipak, merenje nekih eksploatacionih karakteristika nije izvedeno iz okvira "nultog" programa. Radi se o parametrima (kao što je raspodela neutronskog fluksa koji su od interesa za analizu sigurnosti reaktora RA sa početnom konfiguracijom jezgra.

U realizaciji "nultog" programa učestvovaće sledeći OOUR IBK: 180, 150, 100, 060, 010, 030, 140, kao i Institut za fiziku pri PMF - Novi Sad.

Sadržaj "nultog" programa RA

Na sednici Komiteta za sigurnost IBK od marta 1980. godine usvojen je priloženi sadržaj "nultog" programa, koji je poslužio kao osnova za izradu kompletnog programa merenja parametara reaktora RA na malim snagama reaktora.

Kompletna tekst ovog programa razmatran je i usvojen na sednici Komiteta za sigurnost IBK od maja 1980. godine. Naknadno su izvršene korekcije teksta na osnovu primedbi iznetih i usvojenih na ovoj sednici Komiteta.

1. KRITIČNI EKSPERIMENT

1.1. Izbor početne konfiguracije jezgra na bazi proračuna vrućeg i zatrovanog reaktora. Proračun kritičnih parametara hladnog i nezatrovanog reaktora za izabrane konfiguracije.

1.2. Kritični eksperimenti na reaktoru RA sa izabranim konfiguracijama (po 3 centralne i periferijske konfiguracije sa najmanje 32 i najviše 48 tehnoloških kanala sa po 10 gorivnih elemenata po kanalu).

2. EFIKASNOST SISTEMA KONTROLNIH ŠIPKI REAKTORA RA

2.1. Odredjivanje antireaktivnosti standardnog apsorpcionog elementa (referentne kontrolne šipke).

2.2. Kalibracija sistema kontrolnih šipki

2.3. Odredjivanje ugrađenog viška reaktivnosti

3. ODREDJIVANJE KOEFICIJENATA REAKTIVNOSTI

3.1. Odredjivanje koeficijenta reaktivnosti nivoa D_2O

3.2. Odredjivanje diferencijalne reaktivnosti za karakteristične tehnološke kanale

3.3. Odredjivanje temperaturskog koeficijenta D_2O

4. PROSTORNA RASPODELA NEUTRONSKOG FLUKSA

4.1. Odredjivanje apsolutnog fluksa termalnih neutrona aktivacionom metodom

4.2. Odredjivanje prostorne raspodele neutronske fluksa u gorivu i eksperimentalnom prostoru aktivacionom tehnikom.

4.3. Odredjivanje intermedijarnog i "brzog" fluksa u eksperimentalnom prostoru aktivacionom tehnikom.

4.4. Odredjivanje prostorne raspodele fluksa u gorivu metodom aktivacije goriva.

5. ODREDJIVANJE PROSTORNE RASPODELE SNAGE U REAKTORU RA

5.1. Nedestruktivno odredjivanje reaktivne količine U-235 u svežim gorivnim elementima.

- 5.2. Neposredno određivanje prostorne raspodele snage na bazi merenja sadržaja nekih fisionih produkata u gorivu reaktora RA na bazi primene gama-spektrometrijskog postupka
- 5.3. Određivanje prostorne raspodele snage na bazi prostorne raspodele neutronskog fluksa
- 5.4. Kalibracija sistema za merenje i automatsko održavanje snage za uslove hladnog i nezatrovanog reaktora

6. MERENJE SPEKTRA NEUTRONA IZ REAKTORA RA

- 6.1. Merenje "leakage" spektra termalnih neutrona iz reaktora RA sa svežim gorivom za uslove hladnog i nezatrovanog reaktora

7. MERENJE HIDRAULIČNIH PARAMETARA REAKTORA ZA ODREĐENE KONFIGURACIJE JEZGRA

Kritični eksperimenti će se vršiti za više početnih konfiguracija, dok će se svi ostali eksperimenti izvesti samo za jednu izabranu konfiguraciju jezgra, a to je periferna konfiguracija jezgra No. 5. (odnosno periferna konfiguracija koja će se posle izvedenih kritičnih eksperimenata pokazati kao najpovoljnija u pogledu ugrađenog viška reaktivnosti).

Kritični eksperimenti će se odvijati sledećim redosledom konfiguracija No 4, 2, 1, 3, 5, 6.

Odredjene konfiguracije mogu naknadno biti izostavljene iz programa bez promene ovog redosleda.

4.1. Kritični eksperiment

Cilj eksperimenta je određivanje kritičnih parametara reaktora RA za datu konfiguraciju jezgra, i to:

a) Kritična visina H_c teške vode u reaktoru sa izvedenim svim kontrolnim šipkama (šipkama regulacionog, kompenzacionog i sigurnosnog sistema).

b) Pozicija (stepen uronjenosti) kontrolnih šipki pri radnom nivou D_2O od 1700 mm i sa sigurnosnim šipkama u gornjem položaju (izvan aktivne zone).

U realizaciji ovog eksperimenta učestvuju OOUR IBK 180, 150 i 100.

4.1.1. Pripreme

U pripreme su uključene teorijske analize početne konfiguracije jezgra, kao i organizacione i tehničke pripreme.

4.1.1.1. Teorijska analiza početne konfiguracije jezgra

Rezultati ove analize za 6 početnih konfiguracija jezgra prikazani su u tačkama 3.2, 3.3 i 3.4.

Kritična visina D_2O u reaktoru bez kontrolnih šipki proračunata je za konfiguracije jezgra No 1, 3, i 5. Na bazi ovog proračuna i rezultata proračuna iz tačke 3.3, izvršena je procena kritične visine za ostalih 3 konfiguracija i rezultati su priloženi na tabeli 5.

Tabela 5.

Jezgro No	1	2	3	4	5	6
H_c (cm)	112	107	100	129	115	109

Ove vrednosti koristiće se za planiranje eksperimenta približavanja kritičnosti bez prisustva kontrolnih šipki. One mogu biti naknadno korigovane na osnovu izmerene vrednosti H_c za prvu konfiguraciju jezgra, posebno ukoliko se pokaže da je proračunata vrednost H_c veća od izmerene.

4.1.1.2. Tehničke i organizacione pripreme

a) BF_3 "start-up" kanali

Biće korišćena dva BF_3 "start-up" kanala, sa kompletnom elektronikom i registratorima podataka. Ovo su savremene

merne jedinice koje se koriste na reaktoru RB. BF_3 kanali detaljno su opisani u /16/.

BF_3 detektori biće ubačeni u prostor iznad aktivne zone (moguće su korekcije ovog položaja tokom neposredne pripreme eksperimenta sa već ubačenim gorivom i niskim nivoom D_2O).

b) Neutronske izvore

Na raspolaganju su dva neutronska izvora.

Ra:Be izvor intenziteta 1 Ci

Am-Be izvor intenziteta 1 Ci

Neutronske izvor biće ubačen u vertikalni eksperimentalni kanal VK-5. Moguće je da se posle prvog eksperimenta približavanja kritičnosti donese odluka da se u daljim kritičnim eksperimentima neutronske izvor ne koristi zbog relativno visokog fona fotoneutrona u aktivnoj zoni, koji upotrebu izvora čini izlišnom.

c) Način regulisanja nivoa D_2O u reaktoru

Kod definisanja režima menjanja nivoa D_2O u reaktoru tokom kritičnih eksperimenata potrebno je obezbediti poštovanje ograničenja brzine promene reaktivnosti. Kao ograničenje te vrste usvojena je vrednost od 20 pcm/s (na kritičnom nivou) /7/.

Analiza nekoliko mogućnosti za dodavanje i ispuštanje D_2O u/iz reaktora pokazala je da je najpouzdaniji i najpovoljniji način predstavljeno korišćenje pumpe-potrošača 31 i ventila 25 u prostoriji 063 (uz stalnu otvorenost serijski vezanog ventila 25a). Radom ove pumpe i podesnom otvorenošću ventila 25 obezbedjuje se dodavanje vode u reaktor, a zaustavljanjem pumpe obezbedjuje se ispuštanje D_2O iz reaktora, i to preko istog ventila.

Ventil 25 je kalibrisan i izvršeno je odgovarajuće graduiranje. Otvorenost ventila pri kojoj je postignuta vrednost 20 pcm/s zavisi od koeficijenta reaktivnosti nivoa D_2O za datu konfiguraciju. Karakteristični stepeni otvorenosti ventila (kojim se zadovoljava uslov 20 pcm/s) za konfiguracije No 3 i 5 date su na Sl.13. Proverena je i reproducibilnost merenja protoka D_2O u zavisnosti od otvorenosti ventila i nadjeno je da je ona zadovoljavajuća.

Medjutim, poštovanje ograničenja od 20 pcm/s je potreban, ali ne i dovoljan uslov za definisanje režima punjenja D_2O . To je posledica visokog gama fona, odnosno velikog odnosa gama i neutronske fona, tj. nemogućnosti pouzdanog registrovanja snage reaktora na nivoima snage manjim od 5-10 KW. Prema tome potrebno je odrediti režim stepenastog dodavanja reaktivnosti (nivoa D_2O), kojim će se obezbediti da se ne desi da sledeće pumpanje D_2O počne pre nego što snaga (sa datom dovoljno velikom periodom) ne dodje do praga "prepoznatljivosti" (10 KW) i nivoa sigurnosne zaštite od 100 KW (obaranje sigurnosnih šipki). Da bi se takav režim odredio neophodno je poznavati nivo minimalne snage, tj. snage koju će reaktor imati u momentu dostizanja kritičnog nivoa, pri čemu apsolutna vrednost nije od značaja već samo sigurnost da je procenjena minimalna snaga manja od najmanje moguće vrednosti. Na osnovu intenziteta izvora, kao i nekih podataka sa reaktora RB, procenjen je ovaj nivo snage na vrednost od 0,05 W.

Znajući ove "pragove" snage (0,05 W, 10 KW i 100 KW) i uzimajući u obzir vrednosti karakteristične otvorenosti ventila 25 odredjeni su parametri sigurnog režima podizanja nivoa D_2O tokom prvog kritičnog eksperimenta, i to:

Period	Otvorenost ventila 25	Vreme	$\frac{\partial \rho}{\partial t}$	ρ
Pumpanje	130°	20 s	10 pcm/s	linearni porast
Pauza	0	4 min	0	200 pcm

Perioda porasta snage tokom pauze iznosi oko 18,4 s.

Ovaj režim pumpanja proračunat je za konfiguraciju No. 5, dok će prvo približavanje kritičnosti biti izvedeno sa konfiguracijom No 4, koja ima znatno manju vrednost.

Prvo približavanje kritičnosti po ovom režimu trajaće više od 10 h, ali je zato obezbedjena sigurnost reaktora za slučaj da se tehnika na bazi korišćenja BF_3 "start-up" (koja će inače biti korišćena tokom ovog eksperimenta) pokaže nepouzdanom.

Sledeći kritični eksperimenti biće izvedeni na uobičajen način (kako je predviđeno u tački 4.2.1.2), ili po gore opisanoj varijanti, ukoliko se upotreba BF_3 "start-up" kanala pokazuje nepouzdanom.

4.1.2. Izvodjenje kritičnog eksperimenta

4.1.2.1. Priprema eksperimenta

Kritični eksperiment za jednu određenu konfiguraciju jezgra obuhvata sledeće tipične operacije:

4.1.2.1. Formiranje konfiguracije jezgra

- a) Proverava se ispravnost kontrolne i merne instrumentacije
- b) Sve šipke kompenzacionog, regulacionog i sigurnosnog sistema moraju biti u donjem položaju
- c) Neutronske izvor ubacuje se u reaktor*
- d) Početni nivo D_2O podešava se na vrednost $H_0 = 650$ mm (što odgovara polovini visine aktivne zone za konfiguraciju jezgra sa najmanjim kritičnim nivoom D_2O - Tabela 5)
- e) Formira se zadata konfiguracija jezgra prema formularu la i lb.

Sve operacije iz tačke 4.1.2.1. vrši dežurna smena reaktora RA, koja se određuje posebnom naredbom koju potpisuje rukovodilac eksperimenta i direktor reaktora RA.

4.1.2.2. Kritični eksperiment bez kontrolnih šipki u reaktoru

Eksperiment približavanja kritičnosti vrši se podešavanjem nivoa D_2O , sa svim kontrolnim šipkama izvadjenim iz aktivne zone reaktora.

- a) Sve kontrolne šipke izvlače se iz reaktora. Neutronske izvor nalazi se u reaktoru.
- b) Meri se brzina odbroja na oba BF_3 kanala. Merene

* Izuzev ako fon fotoneutronske ne bude isuviše veliki.

vrednosti unose se u Formular 2. U formular 2 i Dijagram 1 u-
beležavaju se zatim relativne recipročne vrednosti izmerenih
veličina (za visinu H_0 one su jednake 1.). Veličina ΔH , za ko-
ju će biti podignut nivo D_2O posle realizacije ove operacije,
jeste:

$$\Delta H = \frac{H_c - H_0}{6}$$

c) Nivo D_2O podiže se za veličinu ΔH . Nove relativne
recipročne vrednosti izmerenih brzina odbroja unose se u Formu-
lar 2 i Dijagram 1. Odredjuje se ekstrapolisana kritična visi-
na D_2O i upisuje u formular 2. Na osnovu ovih podataka proce-
njuje se da li da se ide dalje sa istim korakom ΔH , ili da se
vrednost H smanji.

d) Operacija iz tačke c) ponavljati sve dok se ne pos-
tigne ekstrap. kritičan nivo D_2O . Posle toga neutronske izvor
se vadi iz reaktora i prelazi se na neposredno određivanje
kritičnog nivoa korekcijama nivoa teške vode u reaktoru. Dobi-
jena vrednost kritičnog nivoa teške vode H_c upisuje se u For-
mular 2.

e) Reaktor se gasi ubacivanjem svih kontrolnih šipki.

Operacijama iz tačke 4.1.2.2. rukovodi šef pogona re-
aktora RB, uz učešće operatora reaktora RB, kompletne dežurne
smene reaktora RA i fizičara reaktora RA.

4.1.2.3. Kritični eksperiment sa nivoom D_2O od 1700 mm i uronjenim kontrolnim šipkama

a) Sigurnosne šipke izvlače se iz reaktora. Regulaci-
one i kompenzacione šipke u donjem položaju. Neutronske izvor u
reaktoru. Početni nivo D_2O je H_c , tj. kritičan nivo bez kon-
trolnih šipki za datu konfiguraciju jezgra. Ne pretpostavlja
se da bi reaktor mogao biti kritičan pod ovim uslovima, sa ni-
vooom D_2O od 1700 mm. Međutim, zbog svake sigurnosti, podiza-
nje nivoa D_2O do 1700 mm vrši se na način analogan približava-
nju kritičnosti nivoom D_2O .

b) Vršiti se operacija iz tačke 4.1.2.2b). Veličina ΔH

za koju će biti podignut nivo D_2O posle realizacije ove operacije jeste

$$\Delta H = \frac{1700 \text{ mm-H}_C}{6}$$

c) Ponavlja se operacija iz tačke 4.1.2.2c).

d) Ako se ponavljanjem operacije c) pokaže da je ekstrapolisana visina manja od 1900 mm, kritični eksperiment se prekida i nivo vode vraća na vrednost $H_0 = 650 \text{ mm}$. U suprotnom nivo D_2O u reaktoru dovodi se do vrednosti od 1700 mm.

e) Posle postizanja nivoa od 1700 mm, sa neutronske izvorom u reaktoru, vrši se dovodjenje reaktora na kritičnost podizanjem kompenzacionih šipki u malim skokovima (sve kompenzacije šipke dovode se na isti nivo), a prema proceduri propisanoj u ref. /9/. S obzirom da je snaga reaktora ispod oblasti automatskog rada, posle upisivanja podataka u formular lb ugasi reaktor spuštanjem svih Cd šipki u reaktor.

Operacije obavlja isto osoblje kao u tački 4.1.2.2.

4.2. EFIKASNOST SISTEMA KONTROLNIH ŠIPKI REAKTORA RA

4.2.1. Odredjivanje antireaktivnosti standardnog apsorpcionog elementa (referentne kontrolne šipke)

4.2.1.1. Cilj eksperimenta

Apsolutna kalibracija referentne kontrolne šipke (AR-2) i ostalih kontrolnih šipki, a preko ovih podataka i odredjivanje ostalih efekata vezanih za reaktivnost sistema.

4.2.1.2. Postupak

Koriste se standardni postupci, i to:

A - "Rod drop" postupak

B - Postupak odredjivanja stabilne periode

4.2.1.3. "Rod drop" postupak

a) Kontrolne šipke u donjem položaju. Neutronske izvor u reaktoru.* Prbližavanje kritičnosti vrši se po standard-

**U slučaju da je fon fotoneutrona dovoljno veliki neutronske izvor neće se koristiti*

nom postupku /9/, uz izjednačeno podizanje kompenzacionih šipki. Po dostizanju kritičnosti neutronske izvor izvaditi. Kontrolne šipke prestrojiti tako da se automatski regulator AR-2 nadje u položaju 700 mm, a da AR-1 bude za 200 mm manje uronjen od kompenzacionih šipki.

b) Na registratoru BF_3 kanala (y/t RECORDER7 beležiti nivo zračenja u toku 10 min, uz beleženje temperature moderatora u dnevniku eksperimenta sa razmacima od 1 min.

c) Šipka AR-2 obara se u reaktor, uz beleženje nivoa zračenja na y/t RECORDER-u sa maksimalnom brzinom trake od 10 mm/s, u trajanju od 90 s posle obaranja AR-2. Beleženje nivoa zračenja nastaviti u trajanju od sledećih 8 minuta sa smanjenom brzinom trake.

d) Automatski regulator AR-2 se dovodi na položaj 600 mm. U reaktor se ubacuje neutronske izvor* i reaktor se dovodi do kritičnosti izvlačenjem regulatora AR-1. Ponavljaju se operacije 4.2.1.3 b) i c).

e) Reaktor se zaustavlja.

4.2.1.4. Odredjivanje stabilne periode

a) U reaktor se ubacuje neutronske izvor*. Regulator AR-2 dovodi se u položaj 600 mm. Reaktor se dovodi do kritičnosti. Ručni regulatori se prestrojavaju u položaj koji su imali posle izvođenja operacije 4.2.1.3 d). Neutronske izvor izbacuje se iz reaktora.

b) Nivo zračenja beleži se na y/t RECORDER-u u trajanju od 10 minuta, a temperature moderatora u dnevnik eksperimenta sa razmacima od 1 min.

c) Regulator AR-2 dovodi se u položaj 650 mm, sa blokiranim ostalim regulatorima. Time se u reaktor uvodi pozitivna reaktivnost manja od 70 pcm. Nivo zračenja meri se preko oba BF_3 kanala, uz korišćenje oba registratora i u trajanju potrebnom da se postigne stabilna perioda. Reaktor se zaustavlja.

* U slučaju da je fon fotoneutronske dovoljno veliki neutronske izvor neće se koristiti

d) Operacije iz tačaka a), b) i c) se ponavljaju, s tim što se regulator AR-2 operacijom iz tačke c) dovodi na položaj veći od 650 mm (najviše 700 mm).

e) Reaktor se zaustavlja.

4.2.1.5. Oprema

a) Dva BF_3 "start-up" kanala sa registratorima zračenja.

b) Neutronske izvor (na raspolaganju su Am-Be i Ra-Be izvori)*

c) Standardna reaktorska kontrolna merna oprema

4.2.1.6. Ekipe

a) za tačke 4.2.1.3 i 4.2.1.4:

Rukovodilac eksperimenta: S.Cupać, ing. za sigurnost

RA

Učesnici: O.Šotić, šef pogona reaktora RB
S.Vranić, operator reaktora EB
R.Martinc, rukovodilac "nultog" programa RA
Kompletna dežurna smena reaktora RA

4.2.2. Kalibracija sistema kontrolnih šipki reaktora RA

4.2.2.1. Postupak

a) Izvaditi obe BF_3 detektora iz reaktora

b) Obezbediti cirkulaciju hladioca radom jedne teškovodne pumpe, bez cirkulacije hladioca u sekundarnom kolu.

c) Ubaciti neutronske izvor* u reaktor i izvršiti približavanje kritičnosti na standardan način. Izvaditi izvor iz reaktora.

d) Podići snagu reaktora do minimalne vrednosti pri kojoj je obezbedjen pouzdan rad sistema za automatsko održavanje snage (20 KW - 40 KW).

e) Regulator AR-1 postaviti u položaj 1300 mm i regulator AR-2 u položaj 600 mm. Kompenzacione šipke treba da su podjednako uronjene. Regulator AR-2 radi u automatskom režimu.

**U slučaju da je fon fotoneutrona dovoljno veliki neutronske izvor neće se koristiti.*

Promena položaja regulatora AR-2 od 600 mm do 700 mm predstavlja standardnu promenu reaktivnosti.

f) Spuštati regulator AR-1 sve dok se ne postigne položaj AR-2 od 700 mm.

g) Promeniti položaj kompenzacionih šipki tako da se, pri nepromenjenom položaju regulatora AR-1, regulator AR-2 vrati u položaj 600 mm.

h) Operacije f) i g) ponavljati sve dok regulator AR-1 ne dodje u donji položaj, čime je izvršena kalibracija ovog regulatora.

i) Kod kalibrisanja ostalih kompenzacionih šipki u automatskom režimu rada nalazi se regulator AR-1, počev od najnižeg mogućeg položaja. Kompenzaciona šipka koja se kalibriše ima početni položaj na 1300 mm. Šipka koja se kalibriše spušta se dok regulator AR-1 ne krene. Tada se kretanje šipki zaustavlja i njihov položaj se upisuje u dnevnik eksperimenta. Posle toga spuštanje šipke koja se kalibriše se nastavlja u koracima od po 100 mm sve dok ne dodje u donji položaj. Kod svih promena položaja kompenzacionih šipki njih treba izjednačiti, izuzev šipke koja se kalibriše. U slučaju da regulator AR-1 izađe iz oblasti automatskog rada pre nego što kalibrisana šipka vrati dno, prestrojavanjem ostalih kompenzacionih šipki vratiti regulator na položaj 900 mm i produžiti sa postupkom.

4.2.2.2. Oprema

Standardna kontrolno-merna oprema reaktora RA.

4.2.2.3. Učesnici eksperimenta

Rukovodilac eksperimenta: S.Cupać, ing. za sigurnost
RA

Učesnici: Dežurna smena reaktora RA
A.Stanić, tehničar kod fizičara RA

4.2.3. Odredjivanje ugradjenog viška reaktivnosti

4.2.3.1. Ugradjeni višak reaktivnosti odredjuje se iz kalibracionih krivih antireaktivnosti pojedinih šipki regulacionog i kompenzacionog sistema kontrolnih šipki i njihovog položaja u kritičnom reaktoru, kojim se kompenzuje ugradjeni višak reak-

tivnosti u odnosu na kritičan reaktor bez kontrolnih šipki.

4.2.3.2. Učesnici

A.Stanić, tehničar kod fizičara RA

R.Martinc, rukovodilac "nultog" programa RA

4.2.4. Probno ozračivanje aktivacionih detektora

Posle realizacije operacija iz tačke 4.2.2 pristupiće se u okviru priprema za tačku 4.4, probnom ozračivanju po jednog tipičnog aktivacionog detektora, i to: Au (folija), Co (cil. 10 mg), Dy-Al (cil. 7 mg), S (tableta, 2 g) i Mn, U i Cu folije, koji će biti smešteni na Al-nosačima u kanalima VK-5 i VK-7.

Snaga reaktora 40 KW, vreme ozračivanja 20 minuta.

Učesnici: R.Martinc, rukovodilac eksperimenta
Dežurna smena reaktora RA

4.3. ODREĐJIVANJE KOEFICIJENATA REAKTIVNOSTI

4.3.1. Odredjivanje koeficijenta reaktivnosti nivoa D_2O

4.3.1.1. Postupak

Koeficijent reaktivnosti nivoa D_2O odredjuje se na bazi kompenzacije relativno malih promena nivoa D_2O promenom položaja kontrolne šipke, uz korišćenje kalibracionih krivih antireaktivnosti kontrolnih šipki. Ovaj postupak može se ponoviti za nivoe D_2O od 1600 mm i 1800 mm, uz napomenu da je samo vrednost za 1700 mm korektna, dok su druge dve vrednosti prihvatljive pod pretpostavkom da se kalibracione krive antireaktivnosti kontrolnih šipki ne menjaju znatnije pri promeni nivoa moderatora (gornjeg reflektora) od ± 10 cm. Ova pretpostavka pri znatnijim promenama nivoa D_2O svakako nije prihvatljiva.

a) Reaktor se standardnim postupkom dovede do kritičnosti i to na minimalnu snagu na kojoj je moguć rad u automatskom režimu. Regulator AR-2 radi u automatskom režimu. Obezbeđuje se cirkulacija hladioca radom jedne teškovodne pumpe, bez cirkulacije hladioca u sekundarnom kolu. U tom režimu

reaktor radi 10 minuta, uz popisivanje podataka o temperaturi moderatora i položaju automatskog regulatora u dnevnik eksperimenta. Početni položaj AR-2 je 400 mm.

b) Počinje se sa dodavanjem D_2O u reaktor iz slivnog rezervoara brzinom od 18 l/min, koja odgovara brzini promene reaktivnosti znatno manjoj od 20 pcm/s. Dodavanje D_2O vrši se pumpom-potrošačem 3l preko novougradjenog ventila izmedju pumpe 3l i slivnog rezervoara, kao i ventila 25a i 25. Dodavanje se vrši do promene nivoa od 6 mm, posle čega se u dnevnik eksperimenta beleže podaci o položaju automatskog regulatora i temperature moderatora u toku 6 minuta. Beleži se i vrednost nivoa D_2O .

c) Operacija b) ponavlja se još dva puta sa istim korakom od oko 6 mm.

d) Operacija b) i c) ponavljaju se i za nivo D_2O od 1800 mm. Do ovog nivoa dolazi se kao kod izvodjenja operacije b). Tokom dodavanja D_2O prave se pauze koje su potrebne da bi se regulator AR-2 prestrojavanjem kompenzacionih šipki vraćao na vrednost od 400 mm.

e) Ispušta se D_2O iz reaktora u slivni rezervoar brzinom od oko 20 l/min do nivoa u reaktoru od 1600 mm. Ovo ispuštanje vrši se preko ventila 25, 25a i novougradjenog ventila izmedju pumpe 3l i slivnog rezervoara bez rada pumpe 3l. Ispuštanje vode iz suda reaktora se prekida radi vraćanja regulatora AR-2 na položaj 400 mm prestrojavanjem kompenzacionih šipki. Po dostizanju nivoa D_2O od 1600 mm i stabilizaciji AR-2 postupa se kao pod b) i c).

4.3.1.2. Oprema

Koristi se standardna kontrolno-merna oprema reaktora RA.

4.3.1.3. Učesnici eksperimenta

Rukovodilac eksperimenta: M.Škorić, šef smene RA

Učesnici: Dežurna smena reaktora RA, uz učešće mehaničara uvežbanih za koordinisano rukovanje potrošačima 10 ili 11, odnosno ventilima 7 i 51 (kao u tački 4.1.1.2. c).

4.3.2. Odredjivanje reaktivnosti za karakteristične tehnološke kanale

4.3.2.1. Postupak

Eksperiment se vrši za karakteristične pozicije tehnoloških kanala u pravcima širenja aktivne zone. Pri tome se vodi računa da se ubacivanjem kanala u centralni reflektor ugadjuje oko 1000 pcm (teorijska procena), a u periferne pozicije oko 300 - 400 pcm.

a) Sve kontrolne šipke u donjem položaju. U poziciji 0507 ubacuje se tehnološki kanal sa 10 elemenata svežeg 80% obogaćenog goriva, a izbacuje semikanal.

b) Vrši se dostizanje kritičnosti standardnim postupkom /9/ na maloj snazi i bez cirkulacije hladioca. U dnevnik eksperimenta popisuju se podaci o položaju kontrolnih šipki i temperaturi moderatora. Reaktor se zaustavlja.

c) Operacije a) i b) ponavljaju se za sledeće pozicije istog tehnološkog kanala: 0607, 0711, 0810, 0909 i 1004. Posle svake promene pozicije u upražnjeno mesto vratiti semikanal.

4.3.2.2. Oprema

Koristi se standardna kontrolno-merna oprema reaktora.

4.3.2.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: M.Škorić, šef smene RA

Učesnici: Dežurna smena reaktora RA

R.Martinc, fizičar reaktora RA

4.3.3. Odredjivanje temperaturskog koeficijenta

4.3.3.1. Postupak

a) Pre početka eksperimenta, kombinovanom cirkulacijom i u primarnom i u sekundarnom kolu sniziti temperaturu hladioca što je više moguće.

b) Reaktor se nalazi u režimu automatskog održavanja snege na minimalnoj snazi na kojoj je taj režim moguć 20-40 KW. REGulator AR-2 u automatskom režimu rada, sa početnim položajem na 100 mm. Uključene obe teškovodne pumpe, bez cirkulacije hladioca u sekundarnom kolu. U dnevnik eksperimenta beleže se temperature moderatora i hladioca i odgovarajuće pozicije.

cije regulatora AR-2, koji se usled zagrevanja D_2O usled rada D_2O pumpi izvlači iz reaktora. Broj obrtaja pumpi (kao i u svim ostalim eksperimentima) je 1500 o/min.

c) Na osnovu procene rukovodioca eksperimenta, ili posle zagrevanja moderatora za $20^{\circ}C$, zaustaviti rad reaktora.

4.3.3.2. Oprema

Standardna kontrolno-merna oprema reaktora.

4.3.3.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: S.Cupać, ing. za sigurnost reaktora RA

Učesnici: Dežurna smena reaktora RA

4.4. PROSTORNA RASPODELA NEUTRONSKOG FLUKSA

4.4.1. Odredjivanje apsolutnog fluksa termalnih neutrona aktivacionom tehnikom

4.4.1.1. Postupak

a) Koristi se standardni postupak na bazi merenja ukupne i epikadmijumske aktivacije Au aktivacionog detektora. Detektori će biti aktivirani u vertikalnim eksperimentalnim kanalima: VK-5, VK-7, VK-8, VK-3, VK-2 i VK-9 u aktivnoj zoni i VKG-19 u grafitnom reflektoru.

Uslovi ozračivanja odrediće se na osnovu rezultata iz tačke 4.2.4. Aktivirani detektori poslužiće za merenje relativne raspodele fluksa. Izbor aktivacionih detektora za merenje apsolutne aktivnosti izvršiće se na bazi procene mesta sa najvećim fluksom neutrona u aksijalnoj raspodeli fluksa u citiranim vertikalnim eksperimentalnim kanalima.

b) Koristiće se rezultati aktivacije Co-60 detektora iz tačke 4.4.2, čija aktivnost će se meriti u 4-pi komori reaktora RA, uporedjenjem sa standardnim Co-60 izvorima.

c) Apsolutno merenje neutronske fluksa aktivacijom izotopa Zr. Koriste se izotopi Zr-94 i Zr-96. Zbog razlike u vrednostima parametara $D = I_0/\sigma_0$ (σ_0 - presek za termalne neutrone) moguće je jednostrukim ozračivanjem folije cirkonijuma

odrediti apsolutni fluks termalnih neutrona, kao i odnos epi-termalnog i termalnog fluksa. U gama spektrima ozračenih folija Zr dominiraju linije od 724 i 743 KeV, sa poluživotima od 65,5 d i 16,8 h, što omogućava merenje posle relativno dužeg vremena. Merenje će se vršiti pomoću apsolutno kalibrisanog Ge(Li) spektrometra sa registrovanjem spektara u 4096 - kanalnom analizatoru.

4.4.1.2. Oprema

- a) Set Au folija i Cd kućišta. Al-nosači folija.
4-pi beta protočni proporcionalni brojač
Metrološke laboratorije IBK - OOUR 010
GM-brojački komplet ORTEC, IBK OOUR 150
- b) 4-pi gama strujna komora i set standardnih Co izvora iz OOUR 180; set cilindričnih Co detektora, Al-nosači detektora, GM brojački komplet ORTEC, IBK OOUR 180.
- c) Set Zr aktivacionih detektora (folija)
Ge(Li) spektrometar CANBERA i višekanalni analizator ND 2400, Institut za fiziku PMF, Univerzitet Novi Sad

4.4.1.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: R.Martinc, fizičar RA
Učesnici: A.Stanić, tehn.sar. OOUR 180
dežurna smena reaktora RA

i posebno:

- a) D.Paligorić, IBK OOUR 010
O.Šotić i S.Vranić, IBK OOUR 150
- b) M.Mićić, IBK OOUR 180
- c) L.Marinkov, I.Bikit, J.Slivka, S.Radovanov,
Ing.J.Klinka Inst. za fiziku PMF, Univerzitet Novi Sad

4.4.2. Odredjivanje prostorne raspodele neutronskega fluksa u gorivu i vertikalnom eksperimentalnom prostoru aktivacionom tehnikom

4.4.2.1. Postupak

Co-aktivacioni detektori prečnika 1 mm i dužine 1,5 mm ubacuju se u vertikalne eksperimentalne kanale na standar-

dnim Al-nosačima. Isti detektori ubacuju se u tehnološke kanale ugrađeni u specijalne Al-nosače u formi žice prečnika 3 mm, u koju se buše odgovarajući otvori za Co detektore, koji se zalivaju aralditom. Al-nosač ima specijalnu vodjicu koja omogućava ubacivanje nosača kroz centralne otvore gorivnih elemenata u kanalu. Ova tehnika je primenjena prilikom početka uvođenja 80% obogaćenog goriva /2/ po režimu mešane rešetke 2% i 80% obogaćenog goriva. Stavljanje i vadenje nosača sa Co detektorima vršiće se van aktivne zone reaktora. U svaki nosač ugrađiće se 10 Co detektora, na sredini visine svakog gorivnog elementa. Nosači detektora ugrađuju se u sledeće tehnološke kanale: 0608, 0509 i 0510, kao i u vertikalne eksperimentalne kanale VK-5, VK-7, VK-9 i VKG-19.

Ozračivanje će se izvršiti u skladu sa rezultatima probnog ozračivanja iz tačke 4.2.4, ali na snazi reaktora 50 KW, u trajanju od 45 minuta, bez cirkulacije hladioca.

4.4.2.2. Oprema

Set Co detektora, specijalni nosači detektora za ubacivanje u tehnološke kanale, standardni nosači detektora za ubacivanje u vertikalne eksperimentalne kanale, GM brojački komplet ORTEC.

Sva ova oprema pripada IBK OOUR 180.

4.4.2.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: R. Martinc, fizičar RA

Učesnici: A. Stanić, tehn. sar. OOUR 180

Dežurna smena reaktora RA

4.4.3. Odredjivanje intermedijarnog i brzog neutronskeg fluksa aktivacionom tehnikom

4.4.3.1. Postupak

Odredjivanje spektra neutrona u oblasti 0,68 eV-14 MeV vršiće se merenjem aktivnosti aktivacionih detektora i fisionih detektora. Parametri koji definišu oblik spektra u oblasti 0,7 MeV - 2,5 MeV odredjuju se iz odnosa izmerenih aktiv-

nosti u Mg-, S-, In- detektorima i iz broja fisija u Np- detektoru; parametri spektra u oblasti 0,6- eV - 10 KeV određuje se iz indukovane aktivnosti u Au-, Cu- i Mn- detektorima; za određivanje parametara spektra neutrona u oblasti 10 KeV-0,7 MeV koristi se izmereni broj fisija u U-235 i Pu-239 detektorima. Svi detektori su kalibrisani tako da se aktivnost i broj fisija dobijaju u apsolutnim jedinicama. Eliminacija uticaja termalnih neutrona vrši se stavljanjem svih detektora u Cd kutijice. Potreban je integralni fluks intermedijarnih i brzih neutrona veći od 2×10^{10} n/cm². Uslovi ozračivanja odrediće se na osnovu probnog ozračivanja iz tačke 4.2.4.

4.4.3.2. Oprema

Set aktivacionih i fisionih detektora i Cd kućišta, kao i Na-I sonda vlasništvo IBK OOUR 100, višekanalni analizator ND-60 iz IBK OOUR 180.

4.4.3.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: I. Mirić, IBK OOUR 100

Učesnici: M. Vukčević i D. Veličković, IBK OOUR 100

Dežurna smena reaktora RA

R. Martinc, fizičar reaktora RA

A. Stanić, tehn. sar. OOUR 180.

4.4.4. Odredjivanje prostorne raspodele fluksa u gorivu metodom aktivacije goriva

Izvodjenje ovog eksperimenta svodi se ustvari na izvodjenje eksperimenta u tački 4.5.2, uz odgovarajuću interpretaciju rezultata merenja.

4.5. ODREDJIVANJE PROSTORNE RASPODELE SNAGE U REAKTORU RA

Cilj eksperimenta

Pouzdana i što tačnije poznavanje prostorne raspodele snage u gorivu reaktora RA od izuzetnog je značaja za njegov siguran i ekonomičan rad. Razlika između realno najvećeg top-

lotnog opterećenja gorivnog elementa dopuštenog (planiranog) od strane operatora reaktora i najvećeg dopuštenog nominalnog opterećenja od strane proizvođača goriva /4/, upravo je srazmerna sa greškom sa kojom je ovo toplotno opterećenje određeno od strane operatora. Pri tome je ostvarivanje povoljnih uslova hlađenja irelevantno, jer se radi o gustini snage kao posebnom primarnom ograničenju. Drugim rečima, što je toplotno opterećenje goriva određivano sa sistematski manjim greškama, to je dopušteno opterećenje veće bliže nominalnoj vrednosti tog opterećenja i to je neutronske fluks proizveden u reaktoru date konfiguracije jezgra veći, a rad reaktora sigurniji.

Istraživanja ove vrste izvedena na 2% obogaćenom gorivu reaktora RA /12/ pokazala su da se mogu planirati i realizovati opterećenja za oko 10% manja od nominalnih. Rezultati ovih istraživanja ilustrovani su i na Sl. 12. Međutim, ovakav zaključak ne može se generalisati na 80% obogaćeno gorivo bez vršenja analognih istraživanja, počev od merenja prostorne raspodele snage u reaktoru sa početnom konfiguracijom jezgra, na bazi aktivacije i merenja aktivnosti gorivnih elemenata. Ovaj postupak ima prednosti u odnosu na određivanje raspodele snage na bazi merenja raspodele neutronske fluksa, posebno u uslovima postojanja prostorne raspodele izgaranja goriva.

U ovom kontekstu cilj eksperimenta je merenje prostorne raspodele snage metodom prostorne raspodele fluksa i metodom aktivacije goriva, odnosno određivanje snage reaktora sa početnom konfiguracijom jezgra i provere i korelisanja računskih postupaka za proračun prostorne raspodele snage.

4.5.1. Nedestruktivno određivanje relativne količine U-235 u svežim gorivnim elementima

Ovo je već urađeno za svu količinu 80% obogaćenog goriva primenom dvokanalnog analizatora sa Na-I sondom (Stabilised Assay Meter - SAM 2) specijalizovanog za potrebe SEFEGU-ARDS Div. IAEA. Sa izuzetkom jednog elementa, navodi proizvođača su potvrđeni u granicama greške od 2%. Ukoliko bude

vreme dopustilo ponoviće se merenje za onu količinu goriva koja će biti podvrgnuta aktivaciji i merenju aktivnosti fisionijskih produkata, u cilju određivanja prostorne raspodele snage. Ova merenja bila bi ponovljena uz primenu Na-I sonde i višekanalnog analizatora ND-60. Ukoliko merenja ne budu ponovljena iskoristiće se raniji rezultati merenja u cilju korigovanja rezultata merenja aktivnosti ozračenih gorivnih elemenata.

4.5.2. Određivanje prostorne raspodele snage merenjem prostorne raspodele sadržaja nekih fisionijskih produkata u ozračenom gorivu reaktora RA

4.5.2.1. Postupak

a) Meriće se aktivnost po 5 gorivnih elemenata iz 4 tehnološka kanala, i to svaki 1., 3., 5., 7. i 10., računajući od vrha kanala 0608, 0509, 0510 i 1005.

b) Gorivo koje je bilo u ovim kanalima u prethodnim eksperimentima, odložiće se privremeno u 2 "suva" kanala, što je moguće obzirom na rezultate analize iz tačaka 2.3 i 2.4.

c) U kanale iz tačke a) ubaciće se potpuno neozračeno gorivo, a u prva tri kanala i nosači sa Co- detektorima tačka 4.4.2.1.

d) Uslovi ozračivanja kao i tački 4.4.2.1. Regulator AR-2 u režimu automatskog upravljanja. Regulator AR-1 blokiran na položaju 600 mm. Tokom ozračivanja cirkulacija hladio- ca nije dopuštena, jer su kanali iz tačke a) otvoreni.

e) Za vreme ozračivanja meriti struju jonizacionih komora u standardnim mernim kanalima reaktora RA, kao i struju iz mikrokomore za merenje neutronskog fluksa u aktivnoj zoni reaktora. U kanalu VK-5 ozračiti Au i Zr detektore.

f) Nosače sa Co - detektorima izvaditi iz kanala 1-2 časa posle zaustavljanja reaktora u cilju omogućavanja hermetizovanja reaktora. Aktivirani gorivni elementi mogu da ostanu u reaktoru 10 dana posle zaustavljanja reaktora u cilju "hladjenja". Posle tog vremena aktivnost gorivnih elemenata je reda veličine desetina mCi, što olakšava rukovanje sa ovim elementima van reaktora (tačka 2.4).

Posle vadjenja iz kanala gorivne elemente smestiti u posebno pripremljene i obeležene "soške", odakle će se vršiti transport u stend za merenje aktivnosti posebno odabranih kraćeživećih fisionih produkata.

g) Na jednom elementu izvršiće se merenje aksijalne raspodele sadržaja nekih fisionih produkata duž gorivnog elementa.

h) Posle vadjenja gorivnih elemenata namenjenih merenju, tehnološke kanale iz tačke a) kompletirati privremeno odloženim gorivnim elementima iz "suvih" kanala, kanale vratiti u reaktor i hermetizovati reaktor.

4.5.2.2. Oprema

a) Dva "suva" kanala za privremeno odlaganje malo ozračenog goriva

b) Poluprovodnički Ge detektor iz OOUR 180

c) Višekanalni analizator fizičke laboratorije IBK

d) "Soške" za odlaganje malo ozračenog i "ohladjenog" goriva u hali reaktora RB

c) Stend za merenje aktivnosti iz goriva

4.5.2.3. Učesnici

Rukovodilac eksperimenta: V.Bulović, IBK OOUR 060

Učesnici: R.Martinc, rukovodilac "nultog" programa

A.Stanić, tehn.sar. OOUR 180

dežurna smena reaktora RA

4.5.3. Odredjivanje prostorne raspodele snage na bazi prostorne raspodele neutronskega fluksa

4.5.3.1. Postupak

Po pravilu prostorna raspodela snage nije linearno srazmerna prostornoj raspodeli fluksa termalnih neutrona u reaktoru. Medjutim, u slučaju početne konfiguracije sa svežim gorivom u hladnom nezatrovanom stanju ove raspodele su medjusobno približno linearno proporcionalne, pa se mogu koristiti

rezultati dobijeni iz tačke 4.4.2. za procenu prostorne raspodele snage.

4.5.4. Kalibracija sistema za merenje i automatsko održavanje snage za uslove hladnog i nezatrovanog reaktora.

4.5.4.1. Postupak

Na osnovu prostorne raspodele snage, merenja apsolutnog fluksa neutrona i merenja struja jonizacionih komora kanala za merenje i automatsko održavanje snage reaktora RA, vrši se procena koeficijenata kalibracije ovih mernih kanala za uslove hladnog i nezatrovanog reaktora RA.

4.6. MERENJE SPEKTRA NEUTRONA IZ REAKTORA RA

Realizacija ove tačke odlaže se za početak drugog dela "start-up" programa reaktora RA, tj. programa merenja parametara na većim snagama reaktora RA.

4.7. MERENJE HIDRAULIČKIH PARAMETARA REAKTORA ZA ODREĐJENE KONFIGURACIJE JEZGRA

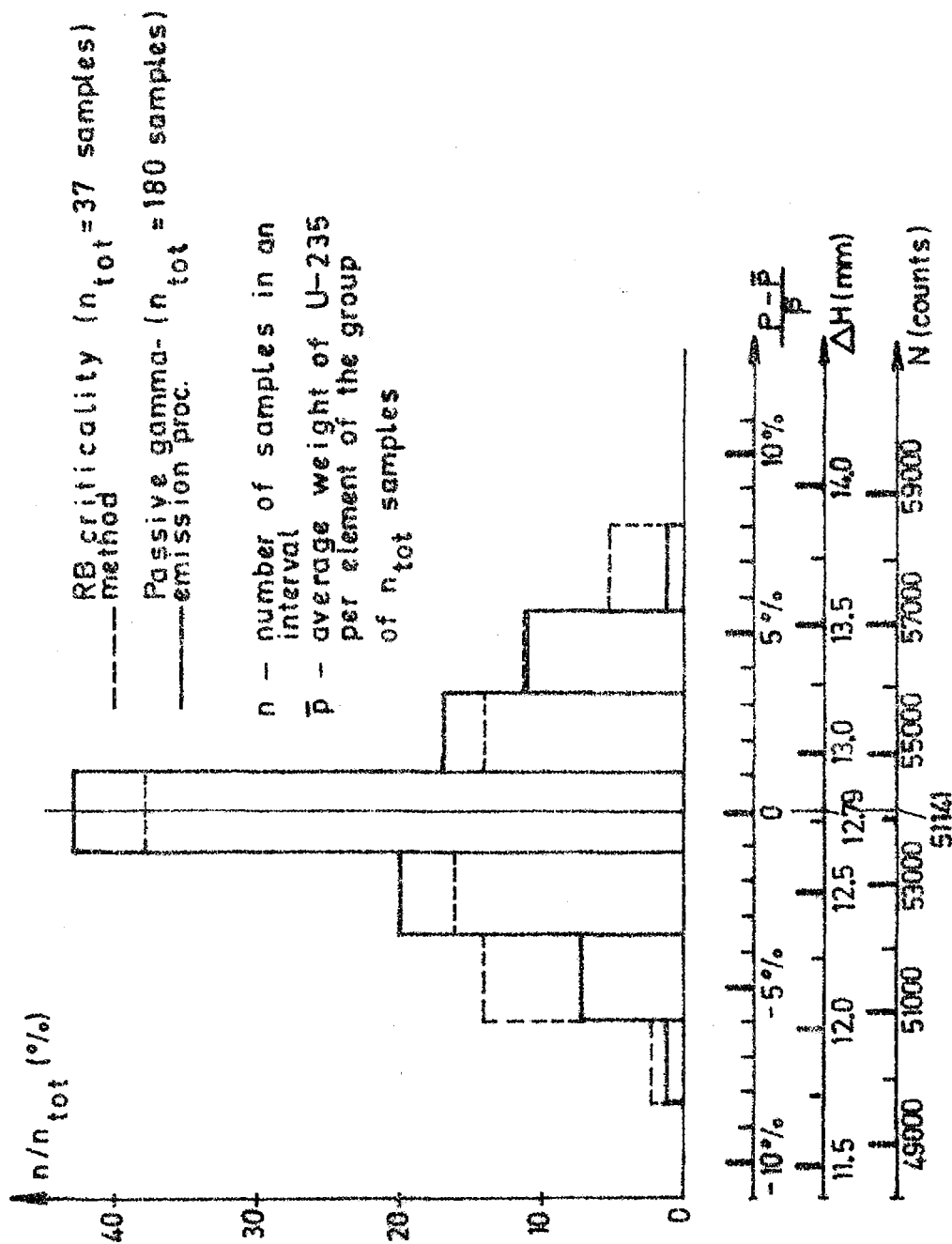
Pošto hidraulički proračun jezgra za uslove smanjene konfiguracije nije izvršen, uključujući određivanje odgovarajućih brzina hladioca kroz tehnološke kanale, to će se hidraulički parametri (režim pritiska i protoka u primarnom i sekundarnom kolu hladioca; u reaktoru i u sistemu helijuma) meriti tokom realizacije "nultog" programa.

Rukovodilac eksperimenta: V.Jović

Učesnici: S.Cupać i dežurna smena reaktora RA.

REFERENCE

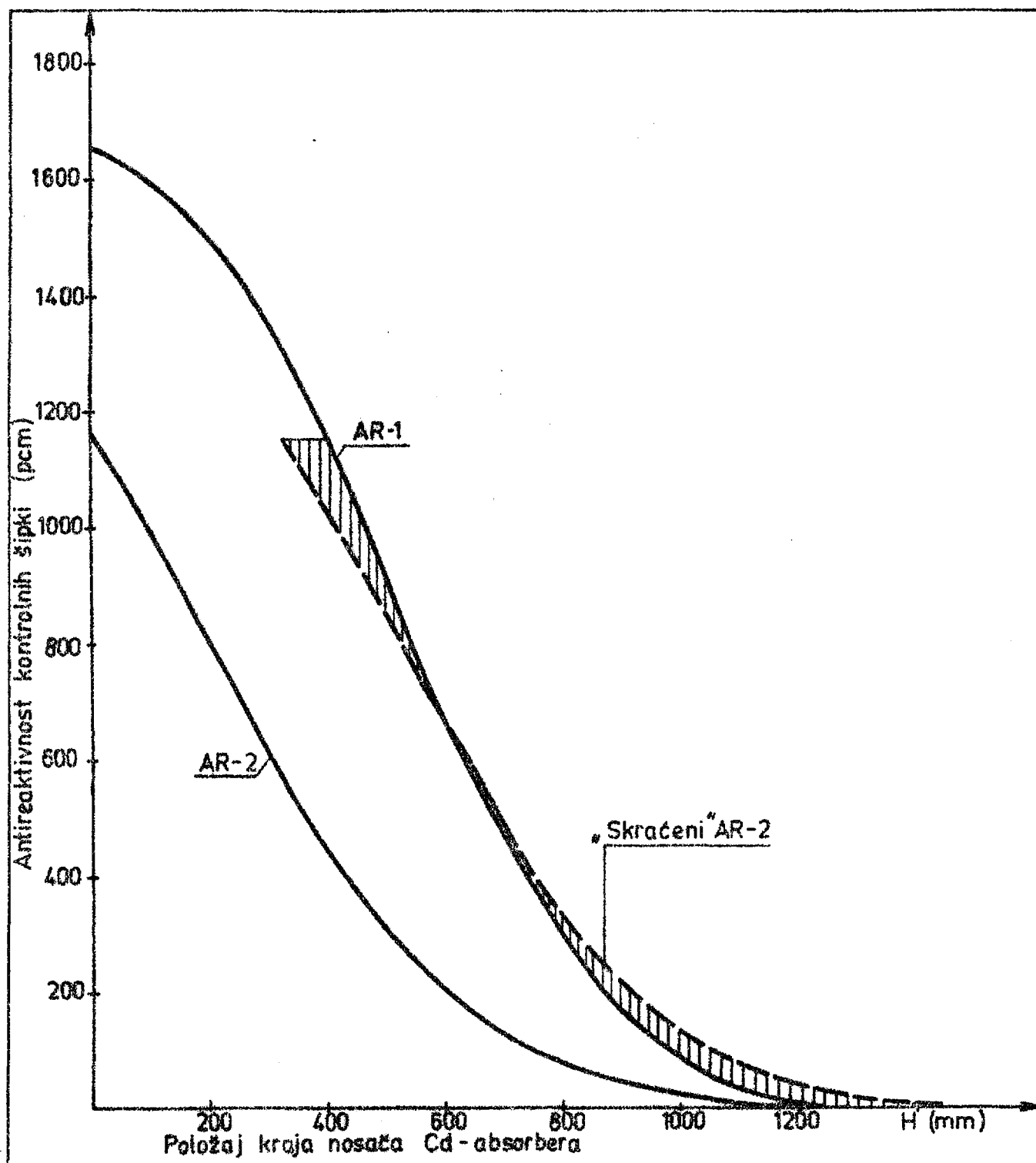
1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Directory of Nuclear Reactors 1, IAEA, Vienna 1966 217.
2. R.Martinc, M.Milošević, S.Cupać, S.Kozomara: Eksperimentalna kampanja reaktora RA sa 4 kanala sa 80% obogaćenim disperzionim gorivom, Radni izveštaj RA-ID 114 1976, dokumentacija reaktora RA
3. R.Martinc, Formiranje jezgra XXVII, Radni izveštaj RA-ID 115a 1977, dokumentacija reaktora RA.
4. Tehničke uslovi na postavku teplovideljajushego elementa disperzionog tipa dlja reaktora TVR-S, No 162.000 Tu.
5. R.Martinc, V.Bulović, O.Šotić, R.Ekarv, D.Petrudin, C.Delegard, J.Stevović, Lj.Jaćimović, Nedestruktivna ispitivanja svežeg i ozračenog goriva reaktora RA, Zbornik Konf. o korišćenju nuklearnih reaktora u Jugoslaviji, s. 539 1978, Beograd.
6. V.Bulović, R.Martinc, S.Cupać, Proračun aktivnosti nekih izotopa u visokoobogaćenom uranskom gorivu reaktora RA, značajnih sa gledišta moguće kontaminacije okoline, radni izveštaj RA-ID 103 1976, dokumentacija reaktora RA
7. Safe operation of Critical Assemblies and Research Reactors, IAEA, Safety Series No. 35, 1971.
8. D.Popović i saradnici, Rezultati merenja na reaktoru RA u toku rada na nultoj snazi, Interna dokumentacija IBK, Lab. za reaktorsku i neutronska fiziku, 1960.
9. Propisi i uputstva, IBK - Laboratorija za eksploataciju reaktora RA, interna dokumentacija, 1960.
10. R.Martinc, M.Petrović, S.Cupać, Izveštaj o rezultatima posete stručnjaka iz IBK Institutu za teorijsku i eksperimentalnu fiziku u Moskvi, Radni izveštaj RA-ID 109, Dokumentacija RA, 1976.
11. Pogonska dokumentacija reaktora RA
12. R.Martinc, V.Bulović, Reactor RA Fuel Burnup Measurement by Spatial Power Distribution and the Gamma-Spectrometry Method, Proc. Symp. on Nuclear Safeguards Technology 1978, Vol. I, P 338, IAEA-SM-231/117, Vienna 1979.
13. P.Strugar, M.Stančić, Ekonomičnost rada reaktora RA sa visokoobogaćenim gorivom, IBK-876, Dec. 1969.
14. T.Boševski, S.Remšak, Program za fizički proračun energetskih reaktora TER-3, Izveštaj IBK-590, 1967.
15. T.Boševski, J.P.Jordanov, Verovatnoće sudara za koncentrične cilindrične zone, Izveštaj IBK-598, 1967.
16. O.Šotić, H.Marković, S.Vranić, Z.Dimitrijević, M.Pešić, Novi start-up kanali i višekanalni analizator na reaktoru RB, Izveštaj IBK-1432 1978.



- RELATIVE U-235 AMOUNT (per element) FREQUENCY HISTOGRAMS
 BY RB CRITICALITY AND "PASSIVE" GAMMA-EMISSION METHODS

Slika 1.

HISTOGRAMI RELATIVNE KOLIČINE U-235 PO ELEMENTU GORIVA ODREĐJENI
 PRIMENOM METODE MERENJA KRITIČNIH PARAMETARA REAKTORA RB I
 "PASIVNOG" GAMA EMISIONOG POSTUPKA

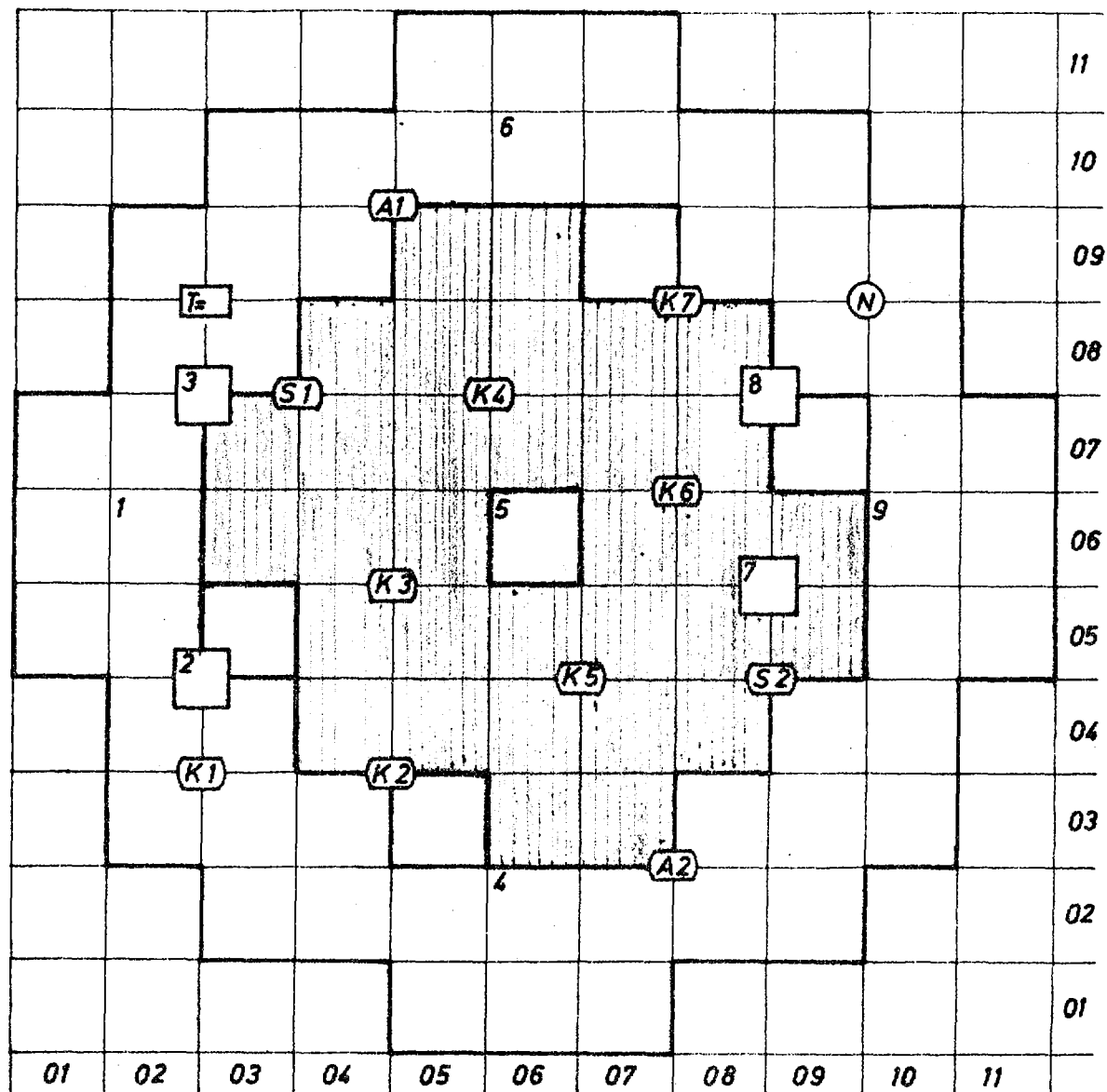


EFEKAT „IZGARANJA“ Cd-ABSORBERA U AUTOMATSKOM
REGULATORU AR-2

Sl. 3.

Konfiguracija jezgra No 1.

Broj tehnoloških kanala - NK = 32
Broj elemenata po kanalu - NE = 10
Centralna konfiguracija



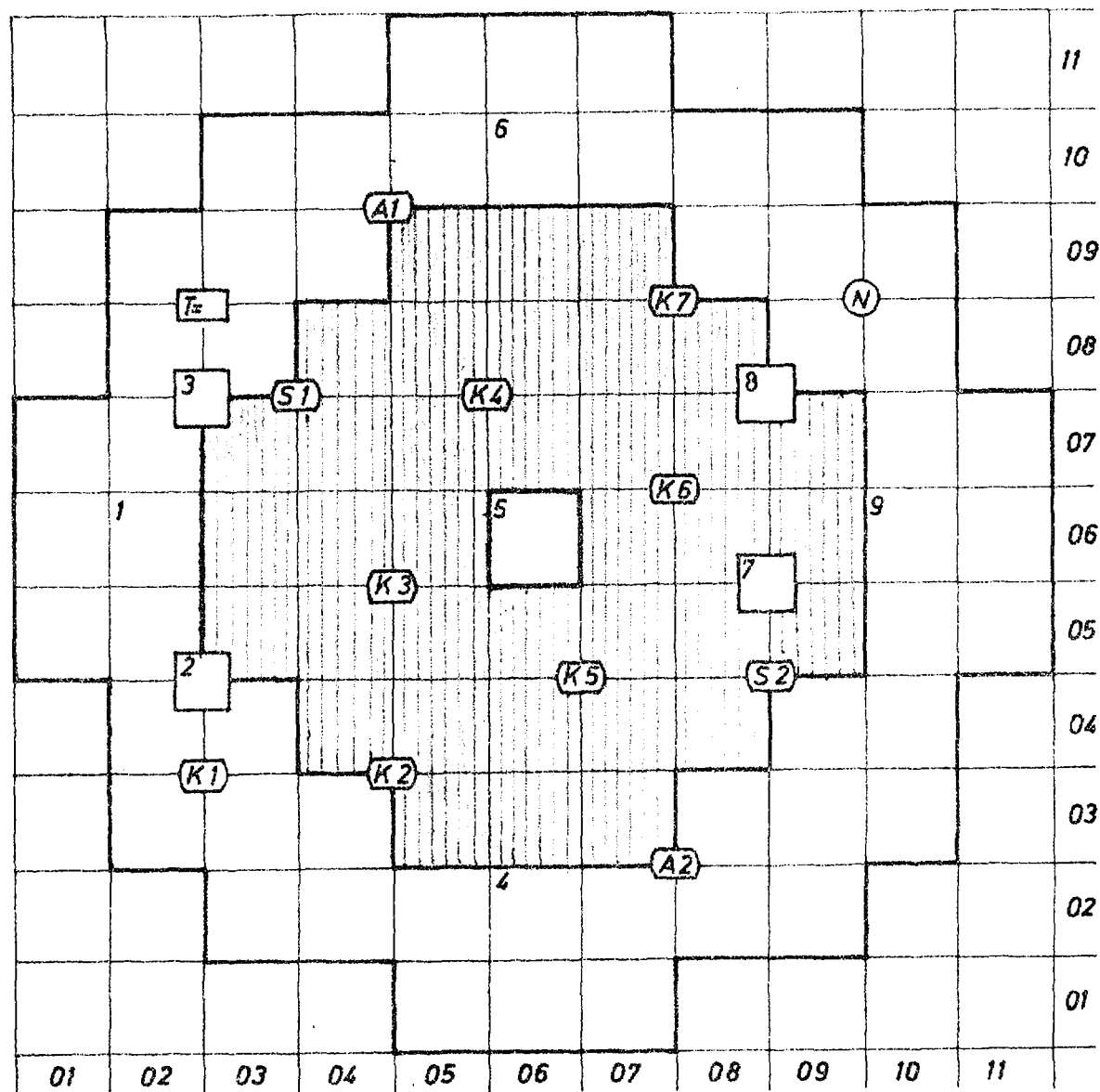
Sl. 4.

Konfiguracija jezera No 2.

Broj tehnoloških kanala - NK = 36

Broj elemenata po kanalu - NE = 10

Centralna konfiguracija



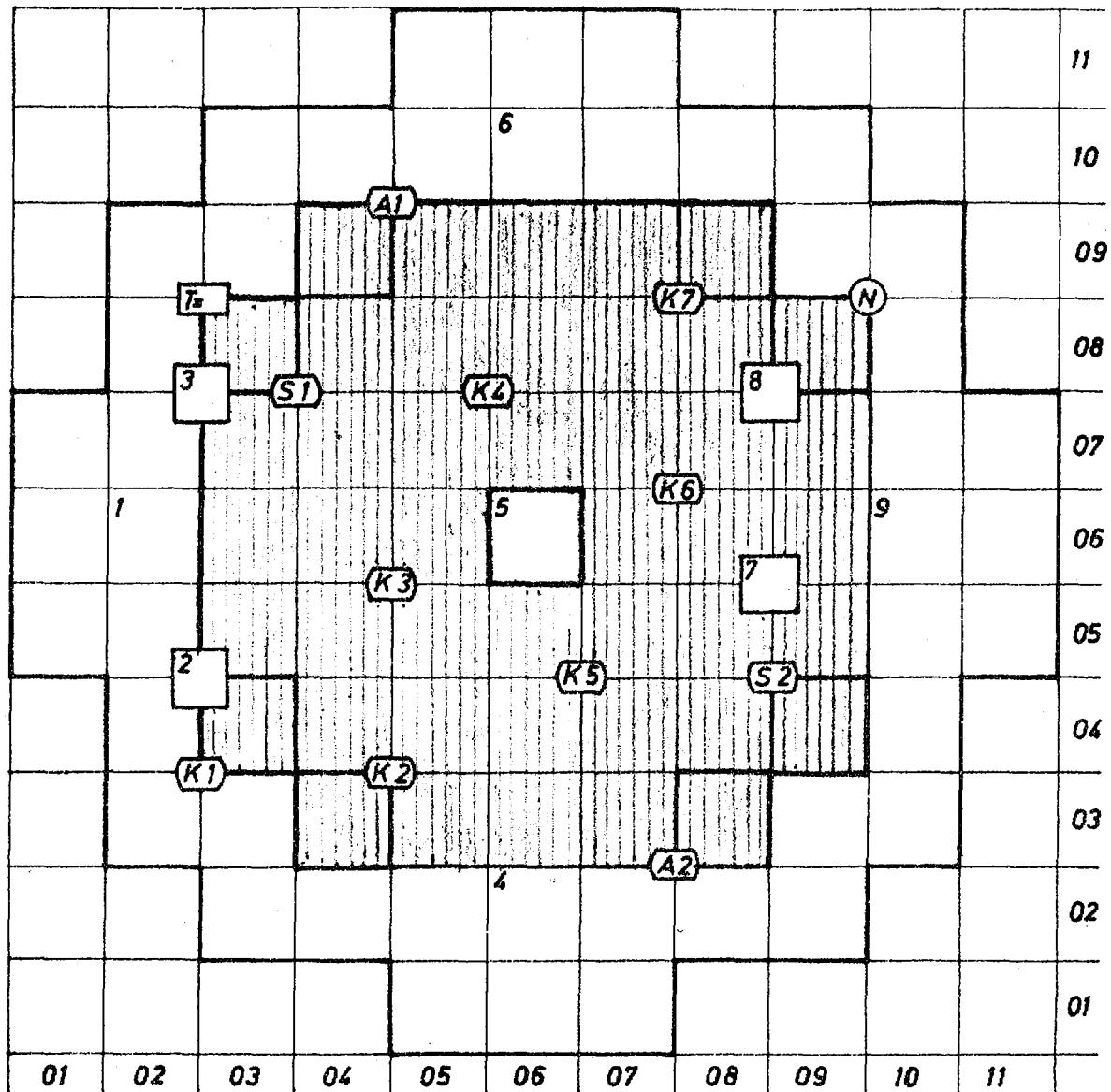
Sl. 5.

Konfiguracija jezgra No 3.

Broj tehnoloških kanala - NK = 44

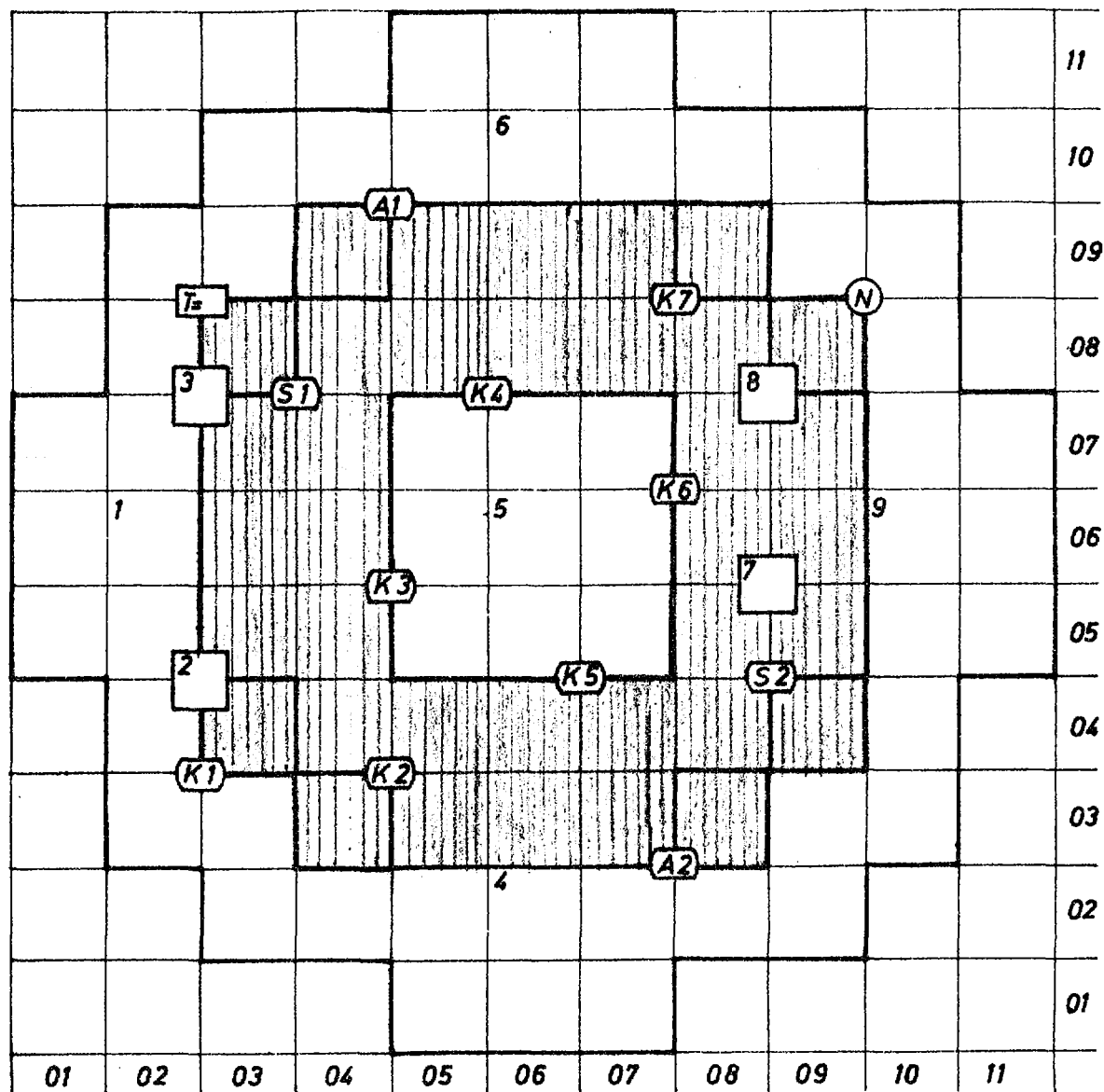
Broj elemenata po kanalu - NE = 10

~~Centralna konfiguracija~~



Konfiguracija jezgra No 4.

Broj tehnoloških kanala - NK = 36
 Broj elemenata po kanalu - NE = 10
 Periferna konfiguracija

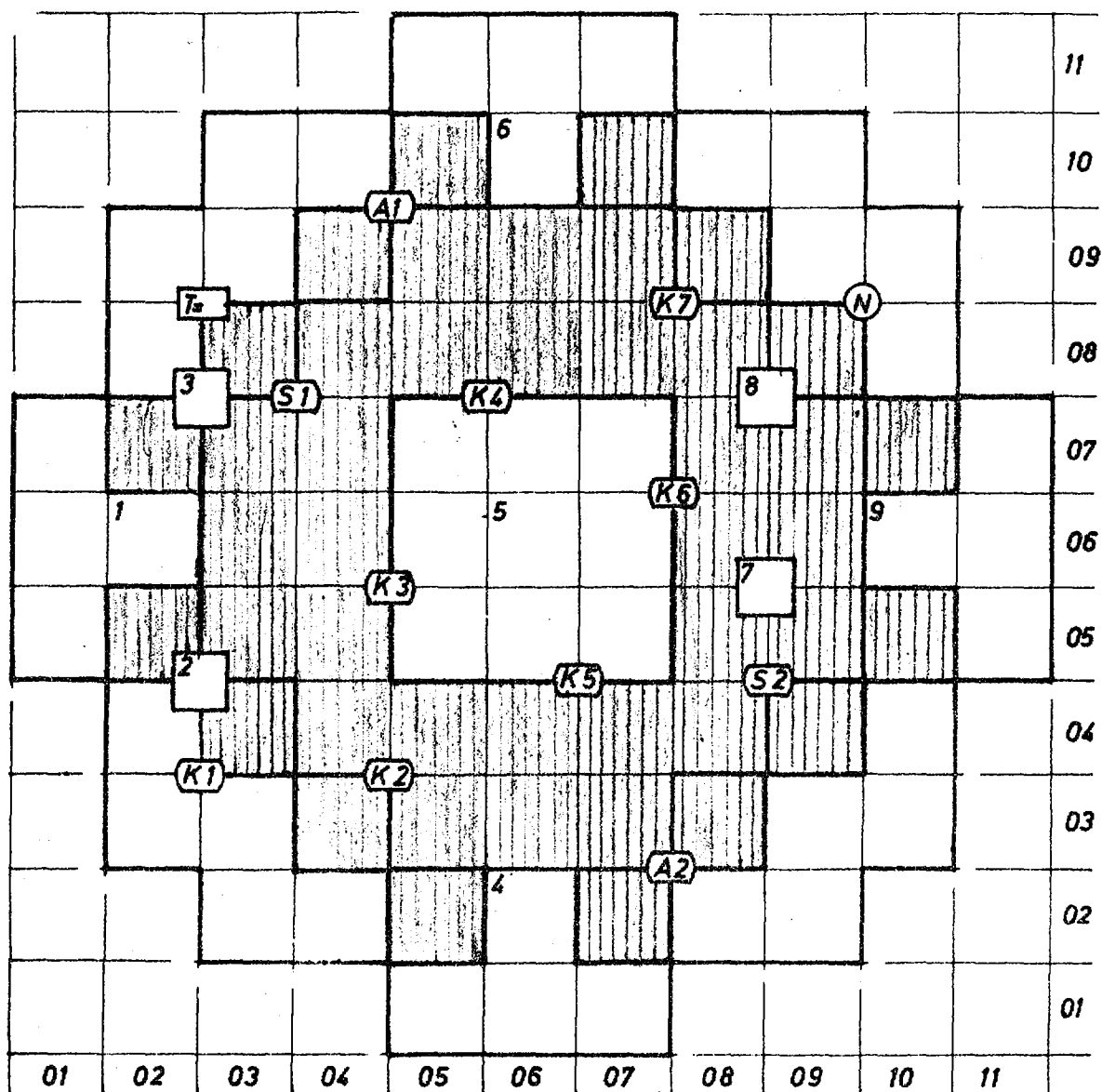


Konfiguracija jezgra No 5.

Broj tehnoloških kanala - NK = 44

Broj elemenata po kanalu - NE = 10

Periferna konfiguracija



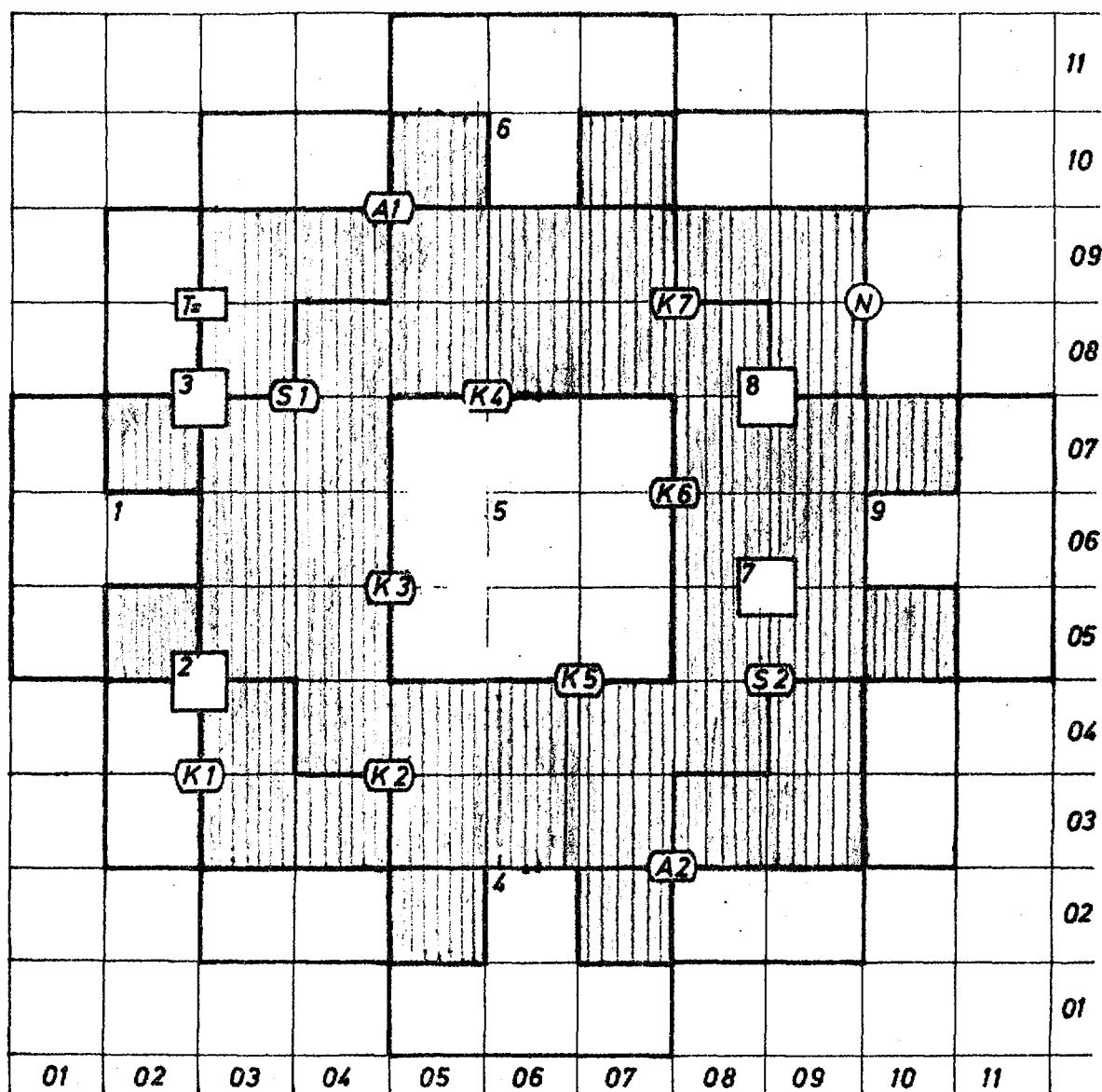
Sl. 8

Konfiguracija jezgra No 6.

Broj tehnoloških kanala - NK = 48

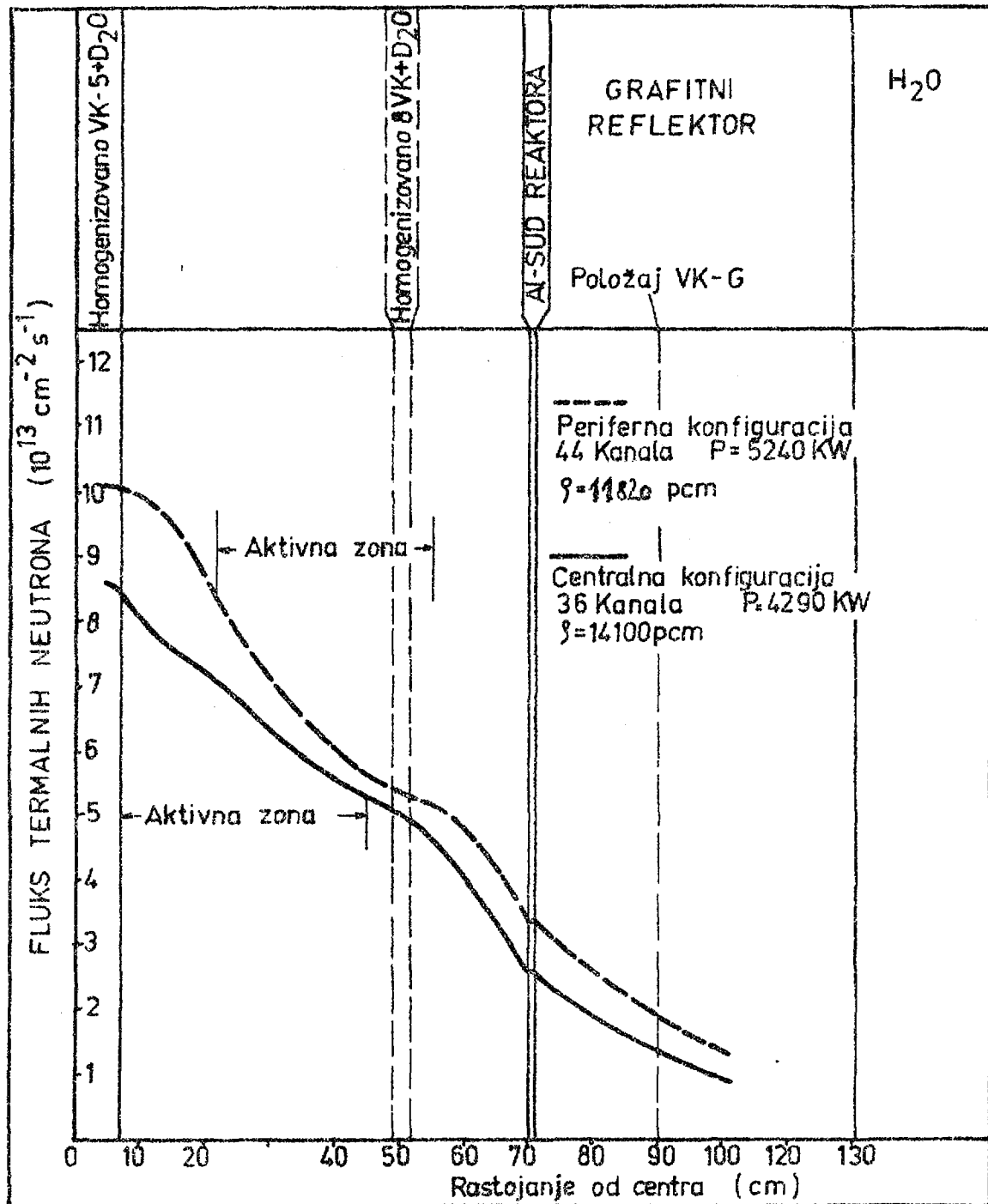
Broj elemenata po kanalu - NE = 10

periferna konfiguracija



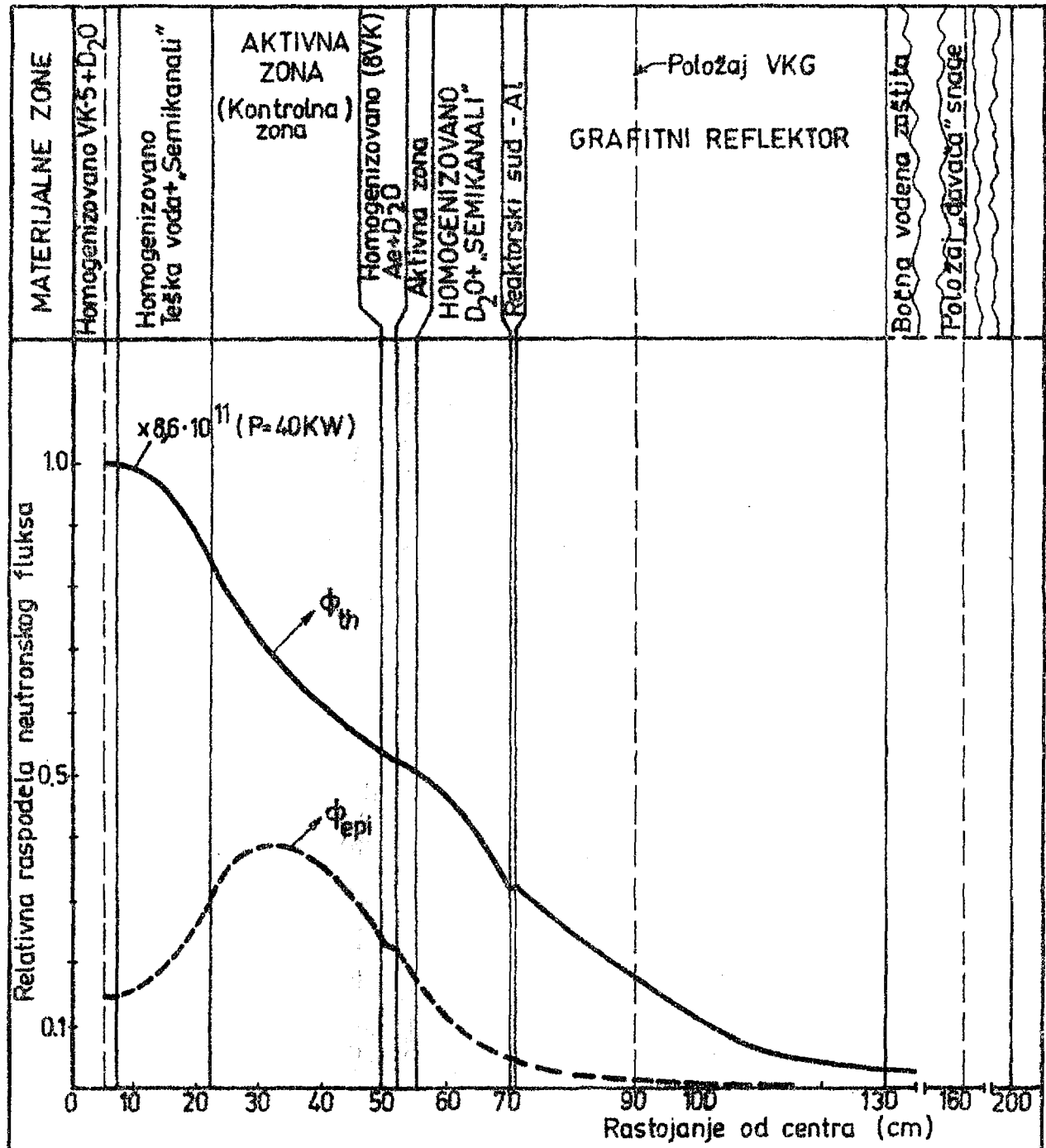
Sl. 9

RASPODELA APSOLUTNOG FLUKSA TERMALNIH NEUTRONA
ZA SLUČAJ CENTRALNE (36 TK) I PERIFERNE (44 TK)
KONFIGURACIJE PRI OGRANIČENJU OPTEREĆENJA
OD 18 KW / GORIVNI ELEMENT



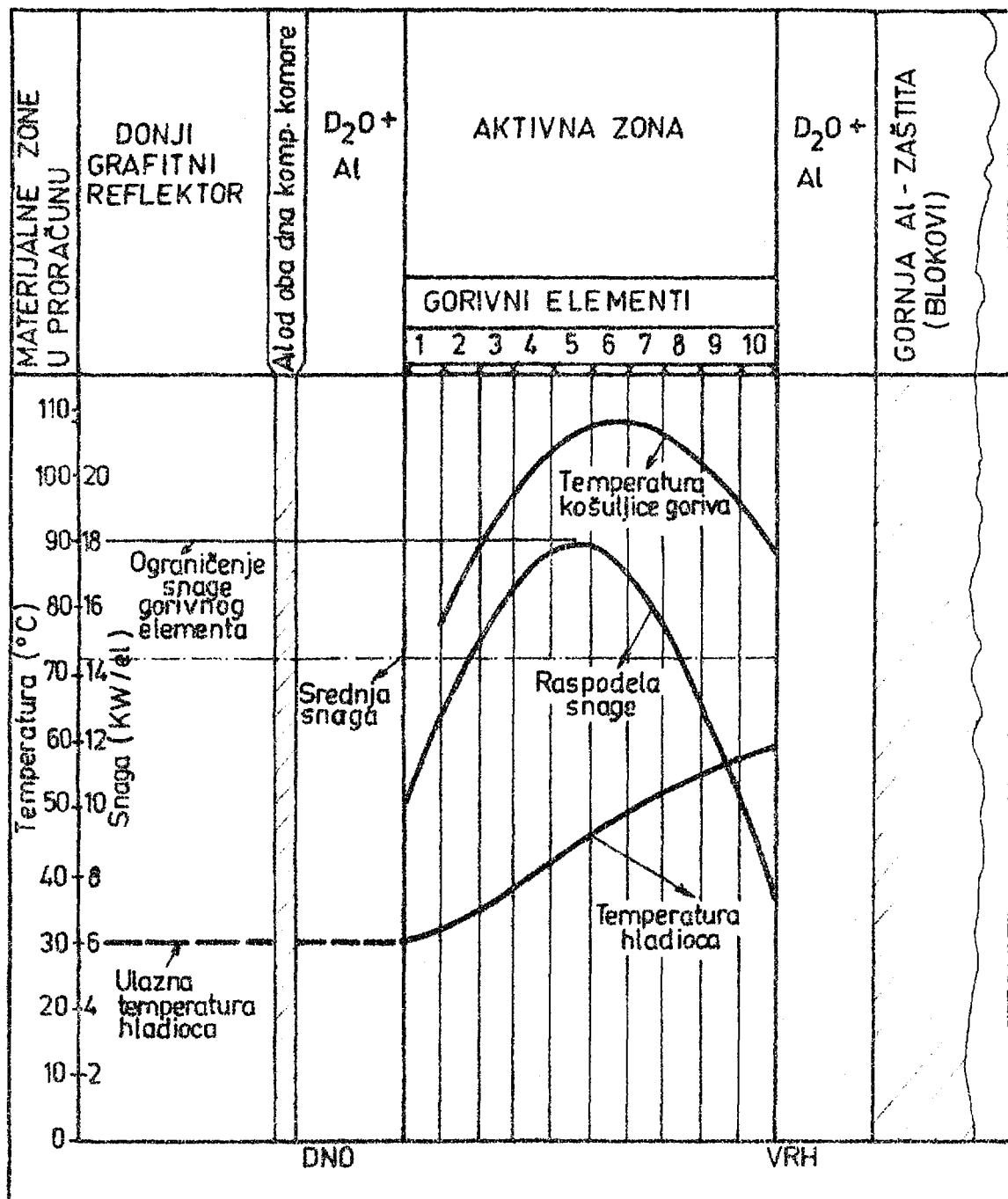
Sl. 10

RADIJALNA RASPODELA NEUTRONSKOG FLUKSA ZA
PERIFERNU KONFIGURACIJU SA 44 TEHNOLOŠKA KANALA

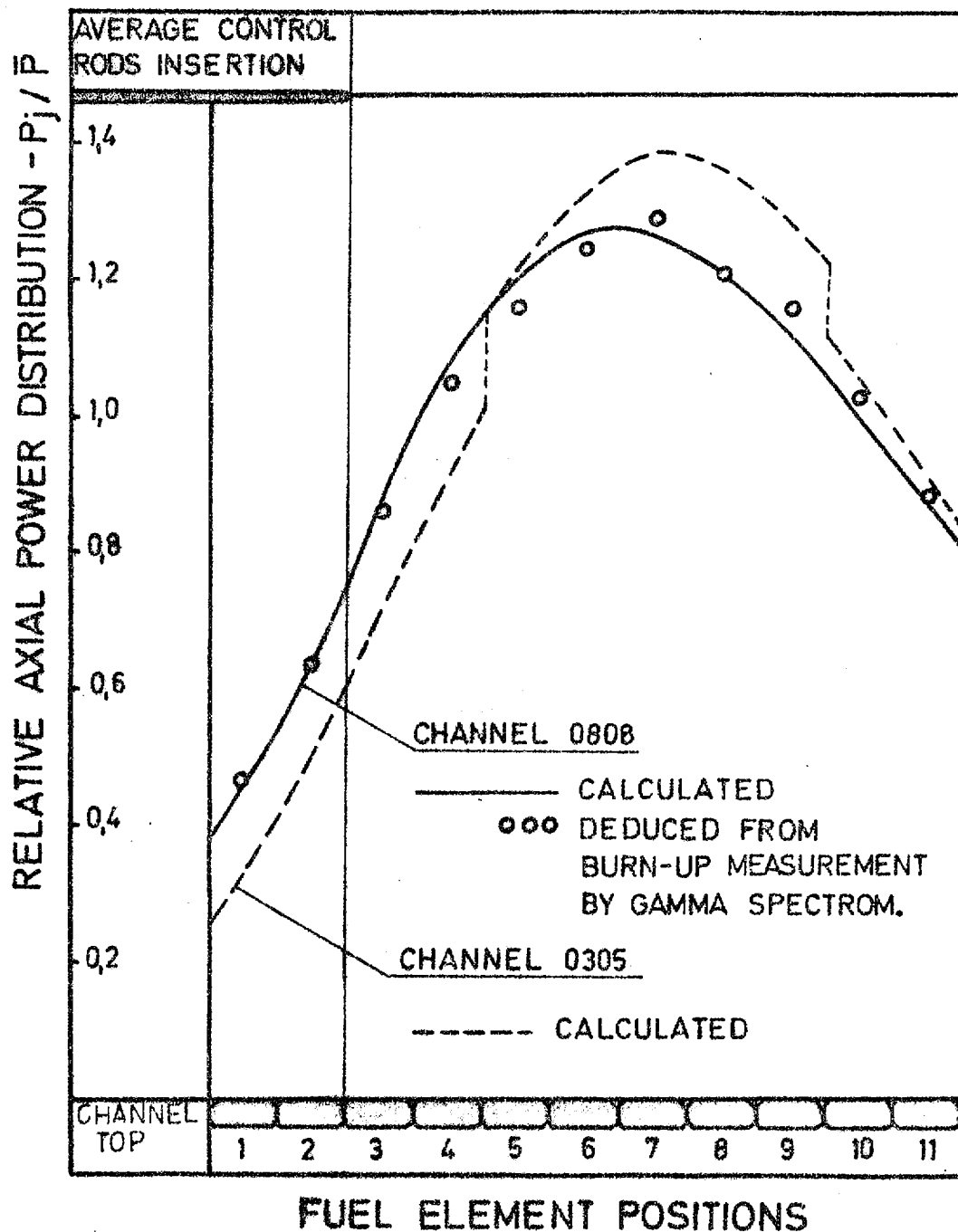


Sl. 11

RASPODELA SNAGE I TEMPERATURA HLADIOCA
I UNUTRAŠNJE KOŠULJICE U TEHNOLOŠKOM KANALU
 $P_R = 5.24 \text{ MW}$, $P_K = 145 \text{ KW}$, PROTOK $D_2O = 3.58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{KANAL}$ *

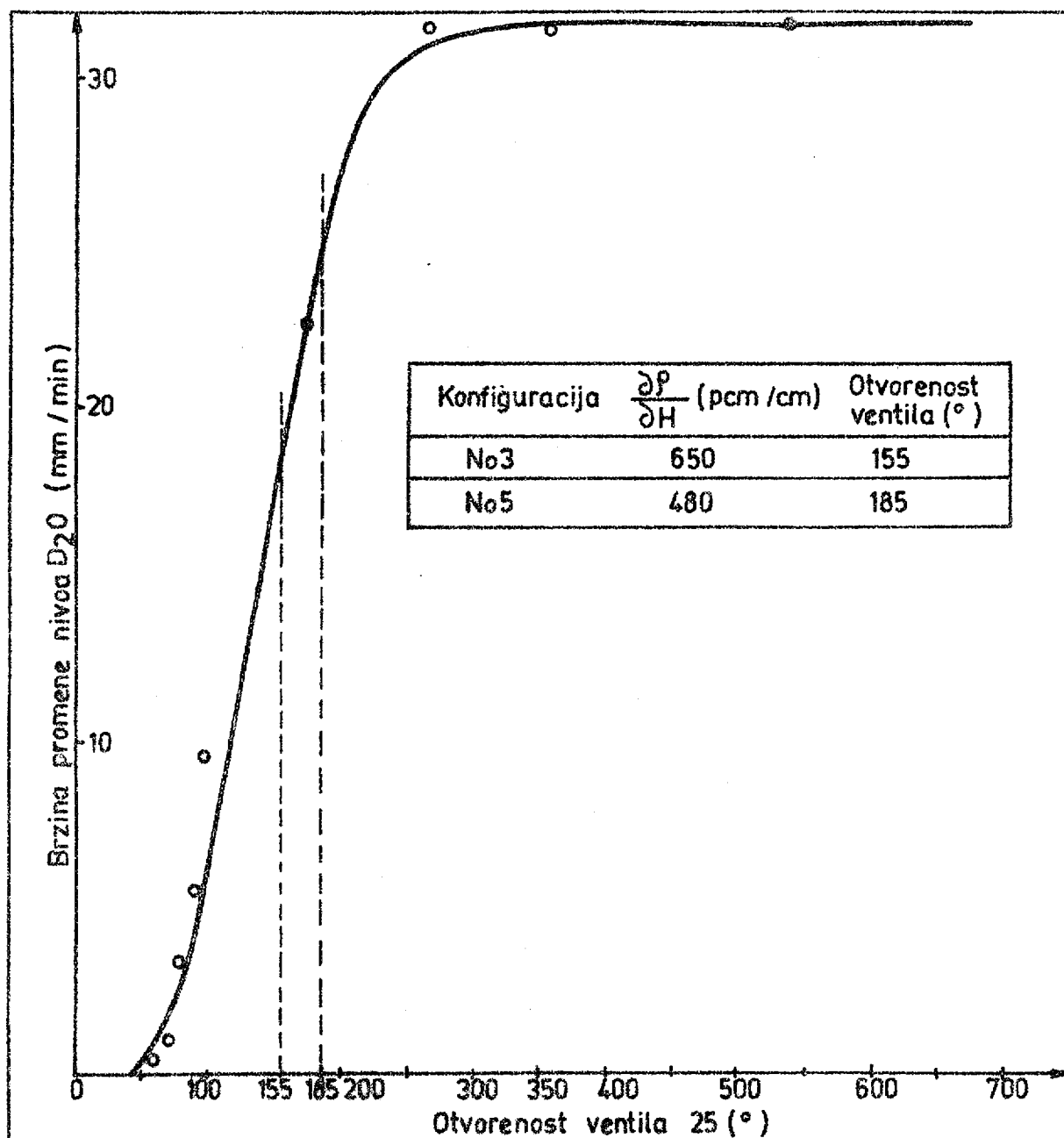


* REALNI PROTOK HLADIOCA JE ZNATNO VEĆI I BIĆE ODREĐEN TOKOM „NULTOG“ PROGRAMA



Slika 12

PRORAČUNATA I MERENA SREDNJA RASPODELA SNAGE
U KANALIMA 0808 I 0305 (2% obogaćeno gorivo)



OTVORENOST VENTILA ZA KOJI JE $\frac{\partial p}{\partial t} \leq 20 \text{ pcm/s}$

FORMIRANJE JEZGRA No. _____

Na dan _____ formiraće se jezgro No. _____ na
sledeći način:

I PRIPREMA

1. Sve kontrolne šipke postavljene
u donji položaj

(Potpis dežurnog šefa smene)

2. Nivo D_2O u reaktoru _____ mm

(Potpis dežurnog šefa smene)

II FORMIRANJE JEZGRA

3. Formiranje jezgra No. _____ vrši se kao dopuna
jezgra No. _____

4. U reaktor ubaciti _____ tehnoloških kanala sa po 10 gorivnih
elemenata sa svežim 80% obogaćenim gorivom u sledeće pozicije:

1. _____	11. _____	21. _____	31. _____
2. _____	12. _____	22. _____	32. _____
3. _____	13. _____	23. _____	33. _____
4. _____	14. _____	24. _____	34. _____
5. _____	15. _____	25. _____	35. _____
6. _____	16. _____	26. _____	36. _____
7. _____	17. _____	27. _____	37. _____
8. _____	18. _____	28. _____	38. _____
9. _____	19. _____	29. _____	39. _____
10. _____	20. _____	30. _____	40. _____

(Raspored tehnoloških kanala prikazan je i na Formularu 1.b)

Operacija punjenja jezgra izvršena _____

(Potpis dežurnog šefa smene)

5. U reaktor ubaciti _____ semikanala
u preostale pozicije

Operacija izvršena _____

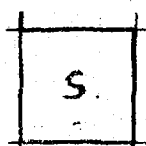
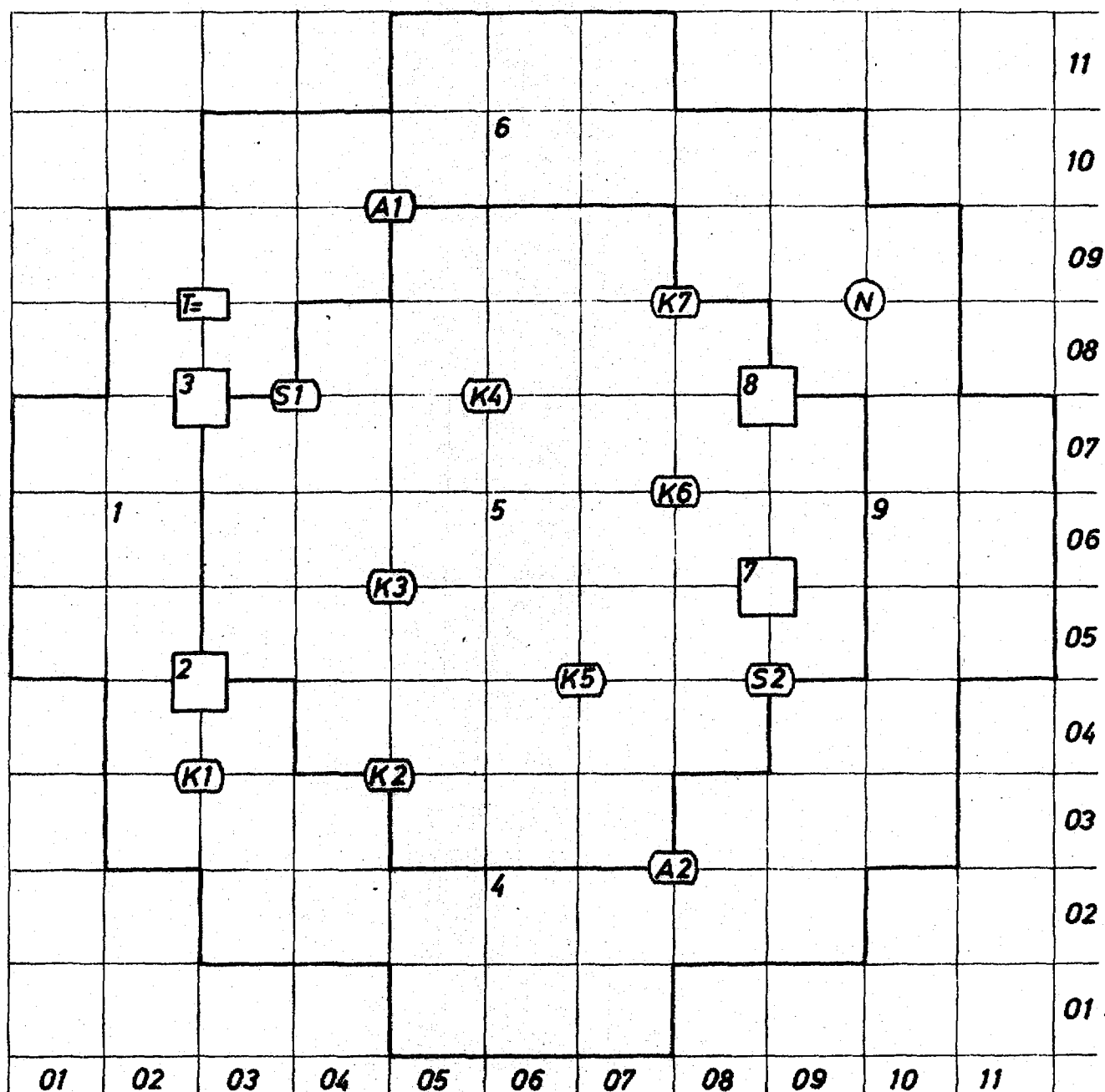
(Potpis dežurnog šefa smene)

Datum _____

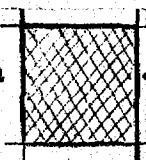
Rukovodilac eksperimenta _____

Direktor reaktora RA _____

FORMIRANJE JEZGRA No.



Pozicije sa
- semikanalima



Posebno opre-
mljeni tehno-
loški kanali



Tehnološki
-kanali sa po
10 gorivnih
elemenata sa
80% obogaćenim
gorivom

Posle formiranja konfiguracije jezgra No. raspored tehnoloških kanala i "semikanala" (kanala bez goriva) odgovara šematskom prikazu na ovom formularu.

Datum: _____

Dežurni šef smene _____

EKSPERIMENT PRIBLIŽAVANJA KRITIČNOSTI REAKTORA RA
ZA KONFIGURACIJU JEZGRA No. _____

- Početni nivo D_2O je: $H_0 = 650$ mm
Proračunati kritični nivo D_2O je: $H_c =$ _____ mm
- Sve kontrolne šipke su u donjem položaju
- Izvršiti ubacivanje neutronskeg izvora na dno kanala VK-5.
- Sve kontrolne šipke dići u gornji položaj.
- Posle stabilizacije izmeriti fluks neutrona na oba BF_3 kanala i upisati u priloženu tabelu.
- Puniti sud reaktora teškom vodom do nivoa od _____ mm
(pumpa br. 31 i ventili 25 i 25a)
- Izmeriti nivo fluksa i uneti odgovarajuće vrednosti u tabelu i Dijagram 1 (visina, izmerena vrednost neutronskeg fluksa i relativna recipročna vrednost fluksa neutrona).
- Operacije 6. i 7. ponoviti do nivoa teške vode od _____ mm.
- Dalje punjenje suda teškom vodom nastaviti u skokovima čija je vrednost manja od jedne trećine razlike nivoa zadnje merene tačke i ekstrapolisanog kritičnog nivoa (pumpe-potrošači 10 i 11 i ventili 7 i 51), sa unošenjem odgovarajućih vrednosti u priloženu tabelu i Dijagram 1. posle svakog skoka.
- Posle dostizanja ekstrapolisanog kritičnog nivoa teške vode izvaditi neutronskeg izvor iz reaktora i korekcijama nivoa teške vode postići i održavati kritičnost reaktora RA u trajanju od 10 minuta. Zaustaviti reaktor spuštanjem kontrolnih šipki u donji položaj.

Tabela - tok kritičnog eksperimenta

H (mm)		650												
Kanal I	n (imp/s)													
	1/n	1.												
	H_c^{exp} (mm)	-												
Kanal II	n (imp/s)													
	1/n	1.												
	H_c^{exp} (mm)	-												

Izmerena vrednost kritičnog nivoa: $H_c =$ _____ mm

Datum _____

Rukovodilac eksperimenta _____

DATUM: _____

UKOVODILAC EKSPERIMENTA: _____

RELATIVNA RECIPROČNA VREDNOST NEUTRONSKE FLUKSA

EKSTRAPOLISANA VISINA D₂O (mm)

0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

650

700

800

900

1000

1100

1200

1300

P R O G R A M R A D A
REAKTORA "RA" NA VEĆIM SNAGAMA

- Probni rad reaktora "RA" sa 80%
obogaćenim gorivom -

1. UVODNE NAPOMENE

Prilikom izrade sadržaja programa probnog rada reaktora "RA" na većim snagama od uticaja su bili sledeći momenti:

a) Veći deo programa radjen je po uobičajenom formatu. Korišćena su iskustva kod planiranja i izvršenja ovakvog programa za reaktor "RA" sa 2% obogaćenim gorivom (1959. god.).

b) Znatna pažnja posvećena je analizi nekih efekata od značaja za sigurnost reaktora, čije uočavanje je rezultat iskustva u pogonu reaktora, sticanog u periodu od gotovo dvadeset godina. U ove efekte se mogu ubrajati promene koeficijenata kalibracije sistema za automatsko održavanje snage reaktora, tokom prelaznog režima: hladno nezatrovano - vruće ravnotežno zatrovano stanje, tj. promene efektivne snage reaktora tokom ovog prelaznog režima; promene form faktora snage posle ponovnog starta reaktora posle kraćih zastoja; promene aksijalne raspodele snage usled kretanja kontrolnih šipki i dr.

c) Početna konfiguracija jezgra reaktora "RA" sa 80% obogaćenim gorivom, sa kojom se vrši probni rad na većim snagama, je (za razliku od 1959. god.) određena čisto teorijskim putem. Izbor početne konfiguracije biće potvrđen ili promenjen u rezultatu "nultog" programa. Zbog toga konačno i detaljno planiranje probnog rada na većim snagama u određenoj meri zavisi od rezultata "nultog" programa.

d) Merenjima eksploatacionih parametara koji nisu od posebnog značaja za sigurnost reaktora, a čije izvođenje ne zahteva promene utvrđenog radnog režima reaktora, posvećeno je manje pažnje. Pošto se početna konfiguracija jezgra znatno razlikuje od ravnotežne, to ove parametre treba meriti više puta tokom prelaznog režima: početna konfiguracija - ravnotežna konfiguracija, u okviru programa rutinskog merenja eksploatacionih parametara reaktora "RA".

2. PROGRAM MERENJA NA VEĆIM SNAGAMA REAKTORA "RA"

1.1. Eksperimenat: Odredjivanje promene efektivne snage reaktora "RA" tokom prelaznog režima: hladno nezatrovano - vruće ravnotežno zatrovano stanje

2.1.1. Cilj eksperimenta:

a) Nalaženje najpovoljnijeg položaja parova jonizacionih komora ("davača" snage) u bočnoj vodenoj zaštiti, sa kojim se postiže najmanja promena efektivne snage reaktora tokom prelaznog režima: hladno nezatrovano-vruće ravnotežno zatrovano stanje.

b) Odredjivanje režima povećanja snage (merene preko sistema za automatsko održavanje zadate snage) tokom prelaznog režima sa ciljem izbegavanja previšenja efektivne (toplotne) snage reaktora pri startu hladnog i nezatrovanog reaktora.

c) Kalibracija sistema za merenje i automatsko održavanje snage reaktora i utvrđivanje nominalne snage.

2.1.2. Oprema i postupci

a) Merenje snage individualnih tehnoloških kanala preko promene temperature i protoka hladioca u kanalu. Odredjivanje snage reaktora kao zbira snaga tehnoloških kanala.

b) Program 20-GRAND (FOTO) za preliminarpu numeričku analizu najpovoljnijeg položaja "davača" snage u bočnoj vodenoj zaštiti.

2.1.3. Organizacije nosioca (podvučeno) i izvršioca eksperimenta IBK - OOUR 180, OOUR 150.

2.2. Eksperiment: Odredjivanje prostorne raspodele snage u vrućem i ravnotežno zatrovanom reaktoru na bazi nedestruktivnog merenja sadržaja fisionih produkata u ozračenom gorivu

2.2.1. Cilj eksperimenta:

Odredjivanje raspodele snage u vrućim i ravnotežno zatrovanom reaktoru i odnosa maksimalnog i srednjeg opterećenja goriva.

2.2.2. Oprema i postupci:

a) Višekanalni analizator OOUR 010 (ili OOUR 180), poluprovodnički Ge brojač (OOUR 180), stend sa kontejnerom za ozračeno gorivo i kolimetrom, kanal za privremeno odlaganje ozračenih gorivnih elemenata, mašina za prepakivanje goriva reaktora "RA".

b) Postupak na bazi gama-spektrometrijskog odredjivanja izgaranja goriva reaktora "RA".

2.2.3. Organizacije nosioca (podvučeno) i izvršioca eksperimenta IBK - OOUR 060, OOUR 180

Napomena: Za vršenje merenja i interpretaciju rezultata potrebno je vreme od 2 meseca, pa će rezultati ovog eksperimenta biti obradjeni u posebnom delu izveštaja.

2.3. Eksperiment: Kalibracija sistema kontrolnih šipki reaktora "RA"

2.3.1. Cilj eksperimenta:

Odredjivanje (relativno) kalibracionih krivih za pojedine grupe kontrolnih šipki za uslove vrućeg i zatrovanog reaktora.

2.3.2. Oprema i postupci:

Koristi se oprema reaktora "RA", kao i postupak za kalibraciju na bazi uporedjivanja sa efikasnošću "standardnog segmenta" regulatora AR-1 (postupak analogan onome iz "nultog" programa).

2.3.3. Organizacije nosioca i izvršioca eksperimenta:

IBK - OOUR 180

2.4. Eksperiment: Odredjivanje temperaturskog koeficijenta reaktivnosti

2.4.1. Cilj eksperimenta:

Odredjivanje ukupnog temperaturskog koeficijenta reaktivnosti i vremena postizanja radne temperature moderatora.

2.4.2. Oprema i postupci:

Oprema reaktora "RA".

1.4.3. Organizacije nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 180

2.5. Eksperiment: Odredjivanje karakteristika reaktora tokom prelaznog režima u pogledu zatrovanja

2.5.1. Cilj eksperimenta:

Odredjivanje promena reaktivnosti i raspodele neutronskog fluksa i snage usled prelaznog zatrovanja kod povećavanja i smanjenja snage reaktora.

2.5.2. Oprema i postupci:

Oprema reaktora "RA" i gama spetkrometar ND-60, sa poluprovodničkim brojačem i setom Dy-Al aktivacionih detektora.

2.5.3. Organizacija nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 180.

2.6. Eksperimenat: Odredjivanje raspodele neutronskega fluksa u vrućem i ravnotežno zatrovanom reaktoru

2.6.1. Cilj eksperimenta:

a) Odredjivanje raspodele fluksa termalnih neutrona aktivacionom tehnikom uz primenu Au, Co, Dy i Zr aktivacionih detektora.

b) Odredjivanje fluksa brzih neutrona neutronske aktivacionom tehnikom.

2.6.2. Oprema i postupci:

a) 4-pi beta proporcionalni protočni brojač (IBK - OOUR 010),

b) 4-pi gama strujna komora i set standardnih Co izvora (OOUR 180),

c) Ge(Li) spektrometar CANBERA i višekanalni analizator ND 2400 (Institut za fiziku PMF, Univerzitet Novi Sad)

d) Ge Brojač i višekanalni analizator ND 60 (OOUR 180)

e) ORTEC GM brojački kompleti (OOUR 150 i OOUR 180)

f) Setovi aktivacionih detektora

2.6.3. Organizacije nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 010, OOUR 180, OOUR 150, OOUR 100 i Institut za fiziku PMF, Univerzitet Novi Sad.

2.7. Eksperimenat: Merenje temperature košuljice goriva

2.7.1. Cilj eksperimenta:

Merenje temperature košuljice gorivnih elemenata u specijalnom mernom temperaturskom kanalu u cilju dobijanja informacija o raspodeli temperature goriva u kanalu i korelisanja odgovarajućeg računskog postupka.

2.7.2. Oprema i postupci:

Temperaturski merni kanal sa specijalnim termoparovima ugrađenim u košuljicu gorivnih elemenata.

2.7.3. Organizacije nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 180 i OOUR 140

2.8. Eksperiment: Merenje "nuklearnog grejanja" goriva posle zaustavljanja reaktora

2.8.1. Cilj eksperimenta:

Određjivanje dinamike pada zaostale snage posle zaustavljanja reaktora

2.8.2. Oprema i postupci:

Oprema reaktora "RA". Postupak na bazi merenja snage kanala i reaktora neposredno posle zaustavljanja, odnosno procene odnete količine energije tokom hlađenja reaktora u dužim periodima posle zaustavljanja.

2.8.3. Organizacije nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 180

2.9. Eksperiment: Merenje termohidrauličkih parametara na vrućem ravnotežno zatrovanom reaktoru

2.9.1. Cilj eksperimenta:

Prikupljanje i obrada svih merljivih parametara (protoci, pritisci i temperature) u primarnom i sekundarnom kolu hlađioca i sistemu gasa.

2.9.2. Oprema i postupci:

Oprema reaktora "RA"

2.9.3. Organizacije nosioca i izvršioca posla:

IBK - OOUR 180 i OOUR 140.

2.10. Pregled planiranih snaga reaktora

Eksperimenti će se raditi na snagama od 500 KW, 1500 KW, 3000 kW, 4500 KW i nominalnoj snazi (predviđena vrednost 4700 KW), izuzev 2.3 i 2.8, koji će biti realizovani samo za snagu od 4500 MW (odnosno nominalnu snagu ukoliko bude veća od 4500 KW).

Izdavač:

Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“

Pošanski fak 522

Beograd - Vinča