

RA/214/R3/P3,

J



CS06RA372

Radovan Martinc

i saradnici

POGON I ODRŽAVANJE REAKTORA RA

Izveštaj o radu u 1976. godini

Decembar 1976. - Vinča

DISCLAIMER

**Portions of this document may be
illegible in electronic image products.
Images are produced from the best
available original document**

S A D R Ź A J

1.	UVOD	1
2.	IZVRŠENJE ZADATAKA U OKVIRU PROJEKTA "POGON I ODRŽAVANJE ISTRAŽIVAČKOG REAKTORA RA" . . .	8
3.	KRUPNIJI REMONTNI RADOVI I ZAHVATI IZVRŠENI NA SISTEMIMA REAKTORA RA TOKOM 1976. GODINE . . .	10
3.1.	Zamena tehnoloških kanala	10
3.2.	Otklanjanje uzroka povećanog stvaranja praskavca	12
3.3.	Ispitivanje uzroka curenja vazduha u spoljni sud reaktora	12
3.4.	Remont teškovodne pumpe "Avala"	13
4.	PREVODJENJE REAKTORA RA NA NOVO 80% OBOGAĆENO URANSKO GORIVO	14
5.	STANJE REAKTORSKE OPREME	17
5.1.	Službe za održavanje reaktorske opreme . . .	17
5.2.	Gorivo reaktora RA	17
6.	DOZIMETRIJA I ZAŠTITA	20
7.	AKCIDENTI	21
8.	ZAKLJUČAK	24
9.	PRILOG	
Prilog I	-- A.Stanić: Podaci o radu i iskorišće- nosti reaktora RA u 1976.g.	
Prilog II	-- J.Radivojević: Rad službe za održavanje mašinske opreme reaktora RA	
Prilog III	-- D.Stamenković: Rad službe za održavanje elektro opreme reaktora RA	
Prilog IV	-- M.Milošević: Rad službe za održavanje elektronske opreme reaktora RA	
Prilog V	-- M.Ninković: Dozimetrija i tehnička zaštita kod reaktora RA	
Prilog VI	-- Plan rada reaktora RA za 1977. godinu	
Prilog VII	-- Dijagrami o radu reaktora	

1. UVOD

Permanentni osnovni zadatak OOUR Odelenja nuklearnog reaktora RA Institut "Boris Kidrič" jeste da obezbedi siguran, ekonomičan i kontinualan rad istraživačkog reaktora RA u cilju stavljanja njegovih kapaciteta na raspolaganje korisnicima iz raznih oblasti nauke, tehnike i privrede.

Ovo se postiže radom na sigurnom i kontinualnom pogonu reaktora, njegovim tekućim i invensticionim održavanjem, razvojno istraživačkim radom na poboljšanju njegovih eksploatacijskih karakteristika, kao i radom na razvoju i plasmanu onih mogućnosti reaktora koje do sada nisu iskorišćene.

Rad kolektiva na ostvarivanju gornjih osnovnih zadataka u 1976. godini karakteriše sledeće:

- a) Neuobičajeno veliki obim planiranih i neplaniranih krupnih remontnih radova. Ovo je uglavnom posledica neobavljanja radova na investicionom održavanju reaktorske opreme u periodu 1970-1975 iz raznih razloga, ali pretežno zbog razloga finansijske prirode.
- b) Veoma veliki obim sigurnosnih i drugih analiza u vezi sa prelaskom na korišćenje novog 80% obogaćenog uranskog goriva u reaktoru RA na najekonomičniji i siguran način.

Ove analize su uspele i reaktor radi u decembarskoj (eksperimentalnoj) kampanji po prvi put sa ubačenim 80% obogaćenim gorivom, pod normalnim radnim uslovima reaktora RA.

Ovaj uspeh je utoliko veći jer predviđena dopunska sredstva za program prevodjenja reaktora RA nisu dobijena, zbog čega je ovaj posao pretežno morao biti uradjen sopstvenim snagama.

Teorijske i eksperimentalne sigurnosne i optimalizacione analize i druge pripreme u vezi prevodjenja reaktora RA na novo gorivo trajale su oko 3 godine, sa najvećim intenzitetom u toku 1976. godine. Ovaj posao radjen je uz pomoć onih

Laboratorija IBK čije finansijske zahteve je reaktor RA mogao da prihvati, sve ostalo uradjeno je materijalnim i kadrovskim snagama samog reaktora RA (Reference /2/, /3/, /4/, /5/ i /6/ i /7/).

Kraj 1976. godine označava kraj uspešne 17-to godišnje eksploatacije 2% obogaćenog metalnog uranskog goriva i ujedno početak korišćenja 80% obogaćenog disperzionog uranskog goriva reaktora RA. Ova je činjenica od izuzetnog značaja za reaktor RA i njegove korisnike i daje obeležje čitavoj 1976. godini.

Značaj te činjenice ogleda se u postepenom povećanju neutronskog fluksa u reaktoru RA na više od 10^{14} neutrona/cm² (u toku sledeće 2 - 3 godine) pri neizmenjenoj nominalnoj snazi reaktora, čime se reaktor RA ponovo svrstava u red visokofluksnih istraživačkih reaktora.

c. Napori da se reaktor RA održi u radu tokom 1976. godine

U godišnjem izveštaju reaktora RA za 1975. godinu dato je upozorenje (Ref. /1/, str. 27) da će zbog oštećenosti tehnoloških kanala, reaktor RA morati da obustavi rad najkasnije aprila 1976. godine, ako pre toga ne budu isporučene iz SSSR cevi za izradu tehnoloških (gorivnih) kanala od specijalne Al-legure. Pošto te cevi do aprila nisu isporučene, na osnovu skraćanja kampanji rada reaktora i na osnovu rezultata detaljnog pregleda stanja oštećenih kanala, odlučeno je /Ref.8/ da se rok za obustavu reaktora produži do jula 1976. godine (uz prihvatanje odredjenog rizika). Medjutim, Al cevi su isporučene tek krajem avgusta 1976. (posle 2,5 godine dopisivanja, urgencija, pa čak i međjudržavnih intervencija), sa definitivnim posledicama na održanje plana rada reaktora i programa prevodjenja na novo gorivo.

Pošto su eksperimenti sa novim gorivom na većim snagama reaktora, pa prema tome i početak korišćenja novog goriva u reaktoru RA, kasnili (nije dopušteno da se novo gorivo ubaci

u oštećene tehnološke kanale), rad reaktora je ugrožen i iscrpljivanjem rezerve starog 2% obogaćenog goriva. Ova teškoća preovladana je usavršavanjem ekonomije reaktorskog gorivnog ciklusa na bazi postupka koji se primenjuje od 1975. godine, (Ref./1/ str.20.) tj. odgovarajućom uštedom goriva, koja je za ove dve godine iznela oko 200 gorivnih elemenata, što je neposredno omogućilo da reaktor radi bez obustavljanja rada i bez dužih zastoja u radu, sve do novembra 1976. godine. Prema tome, činjenica da je reaktor radio preko cele 1976. godine (i pored skraćenja uobičajenog godišnjeg rada reaktora za oko 30%) predstavlja sama za sebe (u datim okolnostima) veliki uspeh radnog kolektiva reaktora RA.

d) Stvaranje uslova za normalan rad reaktora u 1977. godini

Izrada i ugradnja novih tehnoloških kanala u reaktor RA, izvršenje niza manjih i krupnih remonta (kao što je remont teškovodne pumpe "Avala" i sl.), početak eksploatacije novog goriva u reaktoru i druge mere primenjene tokom 1976. godine stvorile su uslove za normalno i realno planiranje i izvršenje rada reaktora u 1976. godini.

e. Smanjenje korišćenja reaktora RA za proizvodnju izotopa za tržište

Proteklu godinu karakteriše apsolutno i relativno smanjenje korišćenja reaktora RA od strane jedinog proizvođača izotopa za potrebe tržišta - Laboratorije za radioizotope IBK. Plaćanje usluga ozračivanja materijala u reaktoru RA svakako nije razlog ove pojave, jer su ti troškovi veoma niski (manji od 5% od ukupnog prihoda te Laboratorije) što zvanično priznaju i predstavnici ove Laboratorije. Ma da je smanjeni rad reaktora mogao da utiče na smanjenje ukupnog korišćenja reaktora za aktivaciju izotopa (i time na izvesno povećanje uvoza), ipak se time ne može objasniti relativno smanjenje korišćenja reaktora za proizvodnju izotopa, tj. smanjenje koje je veće od smanjenja rada reaktora, do koga inače je

došlo tokom 1976. godine. Na osnovu odredjenih indikacija, pre bi se moglo zaključiti da se radi o opštem trendu povećanja uvoza radioizotopa (od strane Laboratorije za radioizotome IBK, koja je ovlašćenja za uvoz i trgovinu sa radioizotopima) i upućivanju na uvoz i onih korisnika izotopa čije se potrebe mogu zadovoljiti kapacitetima reaktora RA. Pri svemu tome ne postoji bilo kakav vid carinske zaštite domaćih kapaciteta za proizvodnju (aktiviranje u reaktoru) radioizotopa.

Reaktor RA ovaj problem zabrinjava ne zbog nedovoljnog prihodovanja od prodaje izotopa, aktiviranih u reaktoru RA, već zbog sužavanja spektra korisnika radioizotopa proizvedenih aktiviranjem u reaktoru RA, tj. smanjenjem stepena korišćenja reaktora RA.

Ovo ~~veoma~~ značajno pitanje se rešava, ili treba rešavati na jedan od sledećih načina:

1. Akcijom na udruživanju sredstava i rada i podeli dohotka na bazi učešća u proizvodnji. Ovakav integracioni proces je u početnoj fazi, na bazi opšteg trenda u IBK u pravcu intenziviranja integracionih procesa.
2. Na bazi direktnog ^{ISTUPANJA} ~~ispitivanja~~ reaktora RA na tržištu u oblasti proizvodnje i primene zatvorenih izvora, uz što veći stepen opremljenosti tih izvora i usluga u vezi sa njihovom primenom, tj. na bazi kompletnih usluga na području "nuklearnog inženjeringa", a u skladu sa kod suda registrovanim delatnostima reaktora RA.
3. U pravcu donošenja odgovarajućih preciznih carinskih i drugih propisa, kojima se zabranjuje uvoz radioizotopa ukoliko domaći kapacitet ozračivanja u reaktoru RA (i reaktoru TRIGA u Ljubljani) dozvoljavaju aktivaciju radioizotopa za koje se traži uvoz. Razume se, saglasnost za uvoz treba da daju reaktori, kao osnovni faktori u proizvodnji izotopa, a ne uvoznici.

Finansiranje reaktora RA

Za obezbedjivanje svojih osnovnih zadataka u 1976. godini reaktor RA raspolagao je sledećim prihodima:

Davalac sredstava	Projekat ili poslovi za koje su sredstva dobijena	Visina sredstava (zaokruženo)
Republička zajednica nauke	Namenska sredstva za projekat Pogon i održavanje reaktora RA	9 800 000
Republička zajednica nauke	Projekti iz oblasti nuklearne energetike	1 800 000
Laboratorija za radioizotope IBK	Od prodaje izotopa ozračenih u reaktoru RA (usluge ozračivanja)	770 000*
Razni izvori	Saradnja sa privredom, dugoročni krediti od RZNS, saradnja sa ZAMTES i dr.	930 000*
S v e g a:		13 300 000*

*Rok za predaju izveštaja RZNS ističe pre donošenja završnog računa IBK za 1976. godinu pa svi podaci imaju karakter procene.

U toku redovnog konkursa RZNS za 1976. godinu, nisu dobijena (mada su planirana od RZNS) sredstva od 1 800 000 dinara preko projekata nuklearne energetike. To je uzrokovalo negativu u poslednjem kvartalu 1976. i blokiranje žiro računa reaktora RA. Ovo je bilo uglavnom posledica lošeg odnosa predstavnika IBK u RZNS prema projektu "Pogon i održavanje reaktora RA" a ne organa RZNS, koji su ova sredstva planirali još početkom godine.

Reaktor RA je takodje dobio od RZNS dugoročni investicioni kredit od 300 000 dinara (sa participacijom OOUR Odeljenje istraživačkog reaktora RA od 300 000 dinara) za izgradnju sistema za hladjenje reaktora RA u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca. Sa ovim kreditom kupljen je deo opreme za ugradnju u ovaj sistem, kao i deo opreme neophodne kod izvodjenja ovih radova.

Reaktor RA je takodje dobio od RZNS kratkoročnu pozajmicu od 500 000 dinara za isplatu dobijenih AL-cevi iz SSSR (čija je ukupna vrednost preko 700 000 dinara).

TAKODJE JE DOBIJENO

Rezerva ovih cevi je dovoljna za sledećih 7-8 godina, ~~kao~~ i pozajmica od 400 000 dinara od Laboratorije za radioizotope.

Kao što je već rečeno, ovu godinu karakteriše veliki obim planiranih i neplaniranih krupnih remonta, što je u znatnoj meri posledica nedovoljnog ulaganja u investiciono održavanje i obnavljanje reaktorske opreme u proteklih 6 godina (na ove posledice neulaganja u investiciono održavanje i obnavljanje opreme ukazano je u godišnjim izveštajima po projektu "Pogon i održavanje reaktora RA" u nekoliko prethodnih godina).

Ove godine zatraženo je od RZNS i povećanje sredstava zbog veoma velikog poskupljenja nuklearnog goriva i električne energije, kao i potrebe za obnavljanjem opreme, u ukupnom iznosu od 800 000 dinara i sredstava u iznosu od 500 000 za zadovoljavanje zahteva Laboratorije za zaštitu od zračenja IBK za poslove kontrole okoline IBK, pošto u međuvremenu ova obaveza Laboratorije za zaštitu od zračenja nije vraćena u okvire Projekta "Zaštita od zračenja", odakle je jednostranim aktom izbačena prilikom potpisivanja ugovora po ovom Projektu za 1974. godinu (bez smanjenja obaveza RZNS prema tom Projektu), posle čega je plaćanje poslova kontrole okoline prebačeno na reaktor RA (bez odgovarajućeg povećanja sredstava od RZNS).

Konačno odbijanje prvog zahteva dovelo bi reaktor RA pred teško rešive probleme već u 1977. godini, a naročito u 1979. ili 1980. godini, kada će verovatno morati da se uplati akreditiv za sledeću

šaržu goriva u iznosu od (sadašnjih) 4 000 000 dinara, a da u Poslovnom fondu reaktora RA tih sredstava ne bude.

Odbijanje drugog zahteva značiće za OOUR Odeljenje nuklearnog reaktora RA da ne može da udovolji zahtevima Laboratorije za zaštitu od zračenja u pogledu kontrole okoline IBK.

I ako definitivnih informacija o poslovnom rezultatu OOUR Odeljenje nuklearnog reaktora RA za 1976. godinu još nema, može se proceniti da će, pod datim okolnostima, reaktor RA završiti poslovnu godinu ili bez znatnijeg viška dohotka ili bez većih gubitaka.

2. IZVRŠENJE ZADATAKA U OKVIRU PROJEKTA "POGON I ODRŽAVANJE ISTRAŽIVAČKOG REAKTORA RA"

Detaljni podaci o izvršenju zadataka dati su u Prilozima od I-VII.

Vremenski je reaktor radio manje za oko 30% u odnosu na planirane vrednosti za 1976. godinu. Medjutim u Napomenama uz plan rada za 1976 godinu vidi se da je on uslovljen uspešnom realizacijom plana nekih remontnih radova, kao i uspešnim i blagovremenim početkom korišćenja novog goriva, planiranim za april 1976. što je sve zavisilo od očekivane isporuke Al- cevi za tehnološke kanale iz SSSR početkom godine.

Na tabeli 2.1. dat je pregled izvršenog godišnjeg rada reaktora po godinama:

TABELA 2.1.

Godina	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Rad (MWh)	31130	25970	31610	31150	30504	30711	30002	20320

Vidi se da je do većih odstupanja od uobičajenih veličina došlo 1970. i 1976. godine. U oba slučaja razlog je bio veliki obim remontnih radova.

1970. godine to je bilo slanje teške vode u Francusku na regeneraciju izotopnog sastava, a ove godine to je bio izuzetno obiman program planiranih i neplaniranih remontnih radova, kao i program eksperimenata za prevodjenje reaktora na novo 80% obogaćeno gorivo.

Ovakav program radova u okviru investicionog održavanja, ali i krupnih remonta usled kvarova na opremi, bio je neizbežan zbog posledica zanemarivanja investicionog održavanja

u periodu između 1970. i 1976. godine, uglavnom usled nedostataka sredstava i materijala.

Karakter izvedenih remontnih radova bio je takav da bi dalje njihovo odlaganje uzrokovalo ili zaustavljanje daljeg rada reaktora ili izazivanje ozbiljnijih akcidenata.

Program eksperimenata sa novim 80% obogaćenim gorivom u reaktoru RA, koji je izveden tokom februara i oktobra 1976. godine, bio je od izuzetnog značaja za definitivno upoznavanje uslova za uvođenje novog goriva u reaktor.

Ti eksperimenti uz odgovarajuće teorijske analize i druge pripreme, doslovce omogućuju prevodjenje reaktora RA na novo gorivo putem parcijalnog uvođenja goriva u reaktor.

Ovo je stvar od izuzetnog značaja za reaktor RA i njegove korisnike, jer upotrebljivog 2% obogaćenog goriva više nema i jer će reaktor RA raditi niz godina sa novim gorivom i sa povećanim neutronske fluksove.

Više informacija o remontima i eksperimentima sa novim gorivom dato je u tačkama 3. i 4., ovde treba zaključiti da je u 1976. godini ostvaren manji rad reaktora od planiranog za 30%, ali da je izveden program remontnih radova i eksperimenata, znatno veći od planiranog, odnosno mnogo značajnijih i vrednijih od umanjenja rada reaktora, do koga je došlo zbog njihovog izvođenja.

Prema tome može se zaključiti da su zadaci po projektu "Pogon i održavanje nuklearnog reaktora RA" izvršeni na zadovoljavajući način.

3. KRUPNIJI REMONTNI RADOVI I ZAHVATI IZVRŠENI NA SISTEMIMA REAKTORA RA TOKOM 1976. GODINE

Tokom 1976. godine radovi na tekućem, kao i radovi na investicionom održavanju daleko su premašili radove izvršene tokom poslednjih nekoliko godina.

Pošto je o tehničkom održavanju više detalja dato u Prilogima II, III, i IV., ovde će biti navedeni samo najznačajniji radovi u okviru investicionog održavanja i najznačajniji drugi remontni radovi, kako planirani (str. 4 u Prilogu I.), tako i neplanirani.

3.1. Zamena tehnoloških kanala

Ovo je planirana i dugo očekivana operacija. Kanali se na odredjenom mestu ubrzano habaju i posle rada od oko 3 godine oni se zamenjuju. Pošto su rezerve cevi od specijalne "nuklearne" legure aluminijuma, od kojih se u priručnoj radionici reaktora proizvode kompletni složeni "tehnološki" kanali (kanali u koje se ubacuje uransko gorivo), veoma smanjene, a zatim krajem 1975. godine potpuno iscrpene smanjen je i tempo njihovog zaminjivanja u reaktoru, pa su sredinom 1976. godine najstariji tehnološki kanali u reaktoru imali "staž" od oko 7 godina.

Detaljan pregled najstarijih tehnoloških kanala (Ref./8/) izvršen je maja 1976. godine i potvrdio je pretpostavke o velikom stepenu istrošenosti kanala i nemogućnosti da sa takvim kanalima reaktor radi duže od jula 1976. i to pri radnom režimu D_2O pumpi od 1500 o/min. Razume se da ubacivanje novog goriva u ovakve kanale nije dolazilo u obzir.

Još pre oko 3 godine preduzete su mere za nabavku AL- cevi iz SSSR, ali sve do novembra 1975. godine svi pokušaji su bili bezuspešni, uključujući i pokušaje kod 30-tak firmi sa zapada.

Tek na osnovu intervencije naših saveznih organa i predsednika sovjetskog Saveznog komiteta za naučnu saradnju, ostvaren je kontakt sa proizvođačem i dobijeno obećanje za isporuku do marta 1976. godine. Isporuka je izvršena samim krajem jula pa je izrada kanala mogla da se izvrši tek krajem avgusta i početkom septembra, kada je u nove kanale prepakovano gorivo iz 30 najoštećenijih kanala u reaktoru.

Negativne posledice po izvršenju plana rada reaktora bile su:

- a. Izgubljeno vreme zbog ispitivanja stanja oštećenih tehnoloških kanala u maju 1976. godine.
- b. Nemogućnost da se sa eksperimentima sa novim 80% obogaćenim gorivom na većim snagama reaktora RA otpočne pre oktobra 1976., odnosno da se sa ~~eks~~perimentalnim radom reaktora sa novim gorivom pod normalnim radnim uslovima u reaktoru počne pre decembra 1976. godine.
- c. Smanjena snaga reaktora u julu zbog visoke temperature ~~dunavske~~ vode i nemogućnosti da se pređe na režim intenzivnijeg hladjenja.
- d. Vreme utrošeno na izradu i ubacivanje kanala u reaktor avgusta i septembra 1976., u toku koga reaktor nije radio.
- e. Krajnja štednja poslednjih rezervi upotrebljivog 2% obogaćenog goriva zbog kojeg reaktor nije radio do predviđenog kraja kampanje septembar / oktobar.

Izrada i ubacivanje novih kanala je bio zahvat u okviru investicionog održavanja koji košta više od 700 000 dinara i od izuzetnog je značaja jer su pripremljene rezerve dovoljne za nesmetani rad reaktora RA od 7 - 8 godina. Isplatu ovih cevi omogućila je RZNS pozajmicom od 500 000 dinara, jer se iz tekućih sredstava reaktora RA (ni iz fondova) nije mogla odjedanput odvojiti tolika suma. Razumevanjem RZNS isplata ovog duga odložena je, tj. prenetu u 1977. godinu.

Ukupno skraćanje godišnjeg rada reaktora prouzrokovano zakašnjenjem u isporuci Al-cevi iznosi ukupno 25 dana (po 5 dana u maju, avgustu i septembru/ 10 dana u oktobru) što čini 12,4% ukupnog godišnjeg planiranog rada.

3.2. Otklanjanje uzroka povećanog stvaranja praskavca

U Izveštaju za 1975. godinu (Ref.1.) navedeno je da je došlo do procurivanja jednog vertikalnog eksperimentalnog kanala.

U januarskoj kampanji došlo je do intenzivnog stvaranja praskavca tj. grejanja kontaktnog aparata. Uzrok je bila "hemijska kontaminacija" teške vode u reaktoru. Tokom januara reaktor je zbog toga radio na smanjenoj snazi od 5 MW, što je ekvivalentno skraćanju rada reaktora od oko 1,3% u odnosu na godišnji rad reaktora.

U februaru je primenjena intenzivna destilacija D_2O radi uklanjanja uzroka povećanog stvaranja praskavca, što je dovela do zakašnjenja u startu od 2 dana, što je predstavljalo skraćanje godišnjeg rada od 1% tj. ukupno od 2,3%.

Posle intenzivne destilacije D_2O stanje je potpuno normalizovano.

Zaključeno je da se čeka da dodje do potpune istrošenosti vertikalnih eksperimentalnih kanala, već da se oni menjaju u periodima ne kraćim od 6 godina. Zbog visoke cene usluga zavarivanja ovih kanala u argonu (izrade novih kanala) i nemogućnosti da se ta usluga obezbedi onda kada je potrebna, već može da bude vezana sa čekanjem, rešeno je da se kupi aparat za argonsko zavarivanje tankih Al-limova, koji će se isplatiti najviše za dve godine.

3.3. Ispitivanje uzroka curenja vazduha u spoljni sud reaktora

Od 1970. godine (posle pražnjenja reaktora i vraćanja D_2O i goriva u reaktor) primećeno je da je došlo do dehermetizacije spoljnog suda reaktora. Posedica je otežano vakumiranje

aktivne zone u cilju efikasne zamene vazduha helijumom. Za sada se taj problem rešava vakumiranjem sa dve vakum pumpe i "ispiranjem" helijumom, pri čemu dolazi do izražaja iskustvo i snalaženje osoblja.

Medjutim, u slučaju da se mesto na kome je došlo do dehermetizacije spoljnog reaktorskog suda proširilo, problemi oko vakumiranja reaktora postali bi ozbiljniji.

U želji da se ova situacija sanira, tj. otkrije mesto dehermetizacije spoljnog reaktorskog suda i ovaj kvar po mogućstvu otkloni, 11. aprilu je iz vertikalnih kanala izvadjena sva oprema Laboratorije za fiziku čvrstog stanja i Fizičke laboratorije i metodom detektovanja curenja helijuma ispitana su sva pristupačna sumnjiva mesta (varovi izmedju horizontalnih kanala i spoljnog suda). Slično je uradjeno sa vertikalnim kanalima u grafitu i na nekim drugim sumnjivim mestima. I pored velikog napora i vremena kvar nije definitivno otkriven već je samo bliže lokalizovan na horizontalni kanal i grafritnu kolonu. U datim okolnostima dosta visokog zračenja i nesigurnog rada detektora curenja (leak detector), kao i daljeg odlaganja rada reaktora, posao je prekinut, oprema vraćena u kanale i reaktor je nastavio rad. Tom prilikom je zaključeno da je sa horizontalnih kanala "skinuta sumnja", kao o mogućim mestima dehermetizacije spoljnog suda, izuzev sa kanala "A" i naročito grafirne kolone. Zaključeno je takodje da se radovi na grafitnoj koloni mogu obavljati posle dužeg zastoja reaktora i uz eventualno konsultovanje sovjetskih stručnjaka i na kraju da je neophodno ubrzati nabavku novog "leak detectora". Ovi radovi su bili toliko intenzivni da je preko-račeno planirano vreme za remont i rad reaktora skraćen za tri dana, tj. za oko 1,6%.

3.4. Remont teškovodne pumpe "Avala"

Najpre je detektovano curenje D_2O na cevi donjeg ležišta ove pumpe novembra 1976. godine. Zbog otklanjanja ovog kvara reaktor je stajao jedan dan. Posle otklanjanja kvara, prilikom

probnog rada pumpe primećeni su znaci istrošenosti ležaja, pa je zaključeno da se remont izvrši tokom 1977. godine. Medjutim odluka je izmenjena i remont je izvršen pre početka decembarske kampanje.

Remont teškovodne pumpe izvršen je pod veoma teškim radnim uslovima zbog curenja teške vode preko ventila (koji zbog duge upotrebe ne zatvara u potpunosti) i dosta visokog zračenja zbog kobalta nataloženog u ležištu.

Remont je ipak uspešno obavljen i zaključeno je da u toku sledeće godine treba izvršiti i na ostale dve pumpe, i ako one sada ne pokazuju znakove istrošenosti, jer ni one kao ni pumpa "A" nisu remontovane u toku poslednjih 7 godina.

Takodje je zaključeno da se one prilikom remonta odvoje od cevi kako bi se osoblje sačuvalo od kontaminacije i sprečio preterani gubitak teške vode.

Na poslove oko otklanjanja kvara na cevi pumpe "A", kao i remont same pumpe utrošeno je oko 6 dana, koje reaktor nije radio, što čini oko 3,2% godišnjeg rada reaktora.

4. PREVODJENJE REAKTORA RA NA NOVO 80% OBOGAĆENO URANSKO GORIVO

Na osnovu teorijskih i eksperimentalnih analiza, vršenih u protekle tri godine, i pored svih teškoća i bez dobijanja dopunskih sredstava od PENS, program prevodjenja reaktora na novo gorivo nalazi se pred uspešnim završetkom. U decembru 1976. godine reaktor je radio u okviru "eksperimentalne decembarske kampanje", pod nominalnim radnim uslovima (snagom reaktora od 6,5 MW i punom konfiguracijom jezgra, uz normalno korišćenje reaktora od strane njegovih korisnika). Rad reaktora u decembarskoj kampanji isplatio je sve uložene napore i sredstva usmerena na prevodjenje reaktora na novo gorivo putem parcijalnog uvođenja novog goriva, jer su svi radni parametri reaktora RA pokazani u eksperimentalnoj decembarskoj kampanji potvrdili rezultate prethodnih teorijskih i eksperimentalnih analiza da će rad reaktora u prelaznom režimu na bazi korišćenja obe vrste goriva (još nedovršeno istrošeno 2% obogaćenog goriva i novog 80% obogaćenog goriva) biti sasvim siguran i ekonomičan.

Na osnovu rezultata iz "eksperimentalne decembarske kampanje" i još nekih dopunskih teorijskih analiza, koje će biti priključene materijalu (Ref. /2/, /3/, /4/, /5/ i /6/, ove reference date su u prilogu ovog izveštaja) već upućenom Komitetu za sigurnost IBK u januaru 1977. godine zatražiće se odobrenje za nastavak prelaznog režima rada reaktora RA sa novim gorivom, pri čemu je ovaj prelazni režim već započet decembarskom kampanjom.

Na taj način postignuto je sledeće:

- a. Obezbedjeno je da se prelazni režim zasniva na principu parcijalnog uvođenja novog goriva u reaktor RA, a ne na principu uklanjanja svog 2% obogaćenog goriva uz formiranje novog jezgra isključivo od 80% obogaćenog goriva. Primenom postupka na bazi parcijalnog uvođenja novog goriva, u odnosu na drugi postupak, postiže se ušteda, procenjena na 2 200 000 do 3 000 000 dinara.
- b. Obezbedjeno je da se rad reaktora u toku 1977. godine, kao i u nizu sledećih godina, odvija bez zastoja i na siguran način.
- c. Osnovni proizvod reaktora RA - neutronska fluks u reaktoru, povećaće se u toku sledeće dve godine za 50%, pri povećanju troškova za gorivo od 600 000 godišnje, što u odnosu na ukupne godišnje troškove predstavlja povećanje od samo 4%.

U toku 1974. i 1975. godine izvršeni su teorijski proračuni i pripremi eksperimenti na reaktoru RA. U toku 1976. godine prešlo se na eksperimente sa 80% obogaćenim gorivom, koje je isporučeno samim krajem 1975. godine.

Ovi eksperimenti radjeni su na principu stepenastog približavanja radnim parametrima reaktora RA, koji su od najvećeg značaja za sigurnost rada reaktora počevši od parametara ~~od~~ dva reda veličine manjih od normalnih (normalnih radnih parametara reaktora). Svakom takom eksperimentu prethodile su teorijske analize i svaki eksperiment služio je za proveru primenjenog teorijskog postupka.

Eksperimenti su započeti na reaktoru RA sa snagom od 50 KW u februaru 1976. godine, kada je merena raspodela neutronskog fluksa u reaktoru sa i bez jednog kanala sa 80% obogaćenim gorivom u poziciji u reaktorskom jezgru, karakterističnoj za početak prelaznog režima. Ova merenja, kao i merenja ugradjene reaktivnosti u potpunosti su uspela u svakom pogledu. Ova merenja omogućila su neposredno merenja na srednjim snagama reaktora, koja bi dala neposredne informacije o lokalnim promenama snage u gorivu. Nažalost, ova druga grupa predstojećih merenja nije mogla da bude uradjena po planu u aprilu ili čak martu 1976., zbog problema sa Al-cevima za izradu tehnoloških kanala (o čemu je bilo reči na strni 11. ovog izveštaja), kao i zbog zakašnjenja u isporuci specijalnih termoparova za kontrolu temperature u gorivu. Ova merenja pripremljena su i uradjena tek krajem oktobra i početkom novembra 1976. godine. I ova merenja su u potpunosti uspela jer su potvrdila sva teorijska predviđanja, kao i rezultate ranijih eksperimenata. Posle analize dobijenih rezultata planirana je izmena goriva pred decembarsku kampanju isključivo uz korišćenje svežeg 80% obogaćenog goriva. Decembarska kampanja predstavlja ustvari početak prelaznog režima rada reaktora sa 80% obogaćenim gorivom. Kampanja je eksperimentalna u toliko što će dati podatke koji će biti od uticaja na dinamiku prelaznog režima, inače u svakom drugom pogledu ona je normalna radna kampanja reaktora RA. Na pripremu i izvršenje eksperimenata sa novim gorivom utrošeno je ukupno 15 dana na račun planiranog rada reaktora, što čini oko 8% godiš-

njeg rada reaktora. Razume se ove pripreme i eksperimenti bili su znatno duži, ali se zbog datih okolnosti nije sve moglo da uradi u okviru vremena van vremena planiranog za rad reaktora u 1976. godini.

5. STANJE REAKTORSKE OPREME

5.1. Službe za održavanje reaktorske opreme

Reaktor raspolaže sa službama za održavanje mašinske opreme (sa priručnom radionicom i priručnim magacinom reaktora RA), za održavanje kontrolno-merne (elektronske) opreme, i za održavanje elektro-opreme reaktora RA.

Rad ovih službi bio je ove godine obimniji nego ranijih godina, kako na poslovima tekućeg održavanja, tako i na obavljanju krupnih remonta.

U radu na održavanju opreme, naročito kod većih remontnih i sličnih zahvata, uvek kada je to bilo potrebno, učestvovali su i smensko osoblje reaktora RA.

Više detalja o radu ovih službi dato je u Prilozima II, III i IV., kao i u tački 4.1. ovog izveštaja.

5.2. Gorivo reaktora RA

Od početka 1975. godine primenjuje se šema izmene goriva zasnovana na doslednoj primeni principa protoka goriva kroz reaktor od mesta sa maksimalnim fluksom u koje se ubacuje sveže gorivo, do mesta sa minimalnim fluksom u reaktoru, iz kojih se potpuno istrošeno gorivo vadi i šalje na odležavanje. U praksi gorivo menja 6 do 8 pozicija tokom svog "života" u reaktoru. Time se postižu značajni efekti uštede goriva, kao i stabilizacije prostorne raspodele neutronskog fluksa, snage i stepena izgaranja, što je bilo od posebnog značaja kao priprema za ubacivanje 80% novog obogaćenog goriva u reaktor RA, sa 2% obogaćenim poluizgorelim gorivom, kao i kod daljeg širenja zone sa novim gorivom u reaktoru RA.

Podaci o utrošku goriva tokom 1976. i stanju goriva u magacinima reaktora RA i RB dato je na Tabelama 5.1. i 5.2.

TABELA 5.1.
Izmena goriva u 1976. godini

Jezgro	Datum formiranja	Broj kanala	Broj elemenata	Obogaćenje	Rad u MWh
XX	17.II.76	1	5	2%	1196
XXI	3.III.76	8	46	2%	4433
XXII	6.V.76	8	48	2%	6994
XXIII	9.IX.76	3	18	2%	2568
XXIV	2.XI.76	4	23	2%	2331
XXV	13.XII.76	4	20	80%	2590**
XXV	13.XII.76	1*	6*	2%	2590**

* Ovde se radi o mernom kanalu sa termoparovima i sa 6 svežih 2% obogaćenih uranskih elemenata goriva i 5 svežih 80% .

Prema tome u reaktor je ubačeno svega 4 kanala, a ne 5.

**Planska vrednost

TABELA 5.2.
Stanje goriva na dan 31.XII.1976.godine*

Merno mesto	Š a r ž e					
	I	II,III,V, IV,VI,VII	VIII	IX (80%)	Ukupno	
					2%	80%
Magacin RA	1	-	-	442	1	442
Jezgro RA	39	-	885	20	904	20
Bazeni	161	5532	39	-	5732	-
Reaktor RB710	-	-	-	462**	710	462
Ostalo	9	4	-	-	13	-
Ukupno:	920	5536	924	924	7380	924

*Pošto se ne planiraju izmene goriva u periodu pisanja ovog izveštaja i 31.XII.1976, to se podaci mogu smatrati kao da se odnose na kraj godine.

**U vanreaktorskoj privremenoj upotrebi

Početkom decembra 1976. otpočelo se sa redovnim korišćenjem novog 80% obogaćenog disperzionog goriva. Svo 2% obogaćeno gorivo, koje se nalazi na reaktoru RB, pripada delimično oštećenom gorivu iz otpisane I šarže goriva. Upotreba ovog goriva nije preporučljiva u reaktoru RA. Ukupno 39 elemenata ovog goriva ipak je upotrebljeno (posle brižljivog izbora) u reaktoru RA, da ne bi došlo do daljeg skraćanja rada reaktora RA u 1976. godini. Ovi elementi biće ubrzano zamenjeni novim 80% obogaćenim gorivom. Prema tome u daljem radu reaktora RA biće korišćeno isključivo novo 80% obogaćeno gorivo.

6. DOZIMETRIJA I ZAŠTITA

Pošto je u Prilogu V dat iscrpan pregled podataka o ozračivanju osoblja, kontaminacijama, radioaktivnim otpacima i sl. to ovde treba napomenuti samo da je tokom 1976. godine bilo krupnih remontnih radova, pri kojima je remontovana oprema bila u dosta intenzivnim poljima zračenja.

Ovo se naročito odnosi na remont teškovodne pumpe "A", ispitivanje stanja tehnoloških kanala i ispitivanja uzroka curenja vazduha na spoljnjem sudu reaktora.

Kako se vidi na tabelama u Prilogu V to je imalo odraza na povećanje srednjih vrednosti primljenih doza u odnosu na poslednje dve godine, ali ni u jednom slučaju nije preoračena maksimalna dozvoljena doza, što je posledica velikog iskustva osoblja i dovoljnog broja radnika iz smene i održavanja, koji su se menjali prilikom ovih remonta.

Ovakva situacija može se ilustrovati podatkom da je maksimalna doza po čoveku u 1976. godini bila 1,76 R, što iznosi oko 35% od maksimalno dozvoljene doze, koja je za 1975. godinu iznosila oko 25%.

Tokom 1976. godine, da bi udovoljila zakonskim propisima o dozimetrijskoj službi u radnim organizacijama koje pogone reaktor, kao i zbog drugih razloga vezanih za nejasnoće po nizu pitanja vezanih za kontrolu okoline IBK i sl., a koji su pretežno finansijske prirode, reaktor RA osposobio je sopstvenu dozimetrijsku službu, koja će početi sa radom od 1.I.1977. godine.

7. AKCIDENTI

U toku 1976. godine nije bilo akcidenata većih razmera na reaktoru RA. Medjutim, dva slučaja mogu se opisati kao akcidentalne situacije, ne po stvarnim posledicama, već po načinu na koji su nastali.

Radi se o sledeća dva slučaja:

a. Slučaj prskanja cevi kod ležaja teškovodne pumpe "Avala".

Ovo je kvar čisto tehničke prirode, koji se nije mogao predvideti i koji^{je} normalnim okolnostima vezan za nezmatne posledice. Medjutim, u konkretnom slučaju došlo je do izliva oko 18 litara D2O hladioca, zbog zakašnjenja u intervenciji od oko 12 časova. Ova voda nije izgubljena, ali se ne može vratiti u reaktor pre podvrgavanja procesu regeneracije izotopnog sastava, što predstavlja odredjenu štetu. Medjutim, ono što uvodi elemente akcidentalne situacije nije ovaj relativno mali gubitak D20, već način na koji se došlo do pomenutog zakašnjenja u intervenciji od oko 12 časova.

Na defekte ovakve vrste ukazuju dva davača signala "vlažnosti", od kojih je jedan bio neispravan. Medjutim, signal sa drugog davača, blagovremeno uočen od operatora reaktora, naknadno je blokiran od strane dežurnog električara u istoj smeni. Stručna komisija formirana za ispitivanje ovog slučaja, došla je do zaključka da je do toga došlo u najvećoj meri zbog neznanja tog električara (koji inače ima položen ispit za pogonskog električara), mada se svakako ne može isključiti ni veoma grubi nehat. Dežurni električar je suspendovan do daljeg, a donet je zaključak da se za ostalo osoblje (bez obzira na mnogo bolji stručni profil ostalog smenskog osoblja u poredjenju sa pomenutim električarem) primeneni češća periodična obnova i provera znanja.

- b. Slučaj kontaminacije hale i hodnika neposredno pre novembarske izmene goriva.

U ovom slučaju do kontaminacije je došlo prilikom pripreme mašine za izmenu goriva. Najverovatnije se radi o nedovoljno brižljivom sušenju hvatača goriva prilikom prethodne izmene goriva i slivanja male količine aktivne D2O u kesu kojom je hvatač odvojen od okoline. Kod pripreme mašine za izmenu goriva pred novembarsku kampa-
nju, prilikom prenošenja hvatača moguće je da je kesu probušena i teška voda se izliva na pod, pa je raznošenjem obućom kontaminacija ubrzo raznesena po hali RA i hodniku.

Pre donošenja ovog zaključka uzorak materijala kojim je izvršena kontaminacija poslat je na gama-spektrometrijsku analizu u Laboratoriji za zaštitu od zračenja. Pošto rezultate nismo mogli dobiti ni posle veoma dugog vremena, drugi uzorak poslat je na analizu u Fizičku laboratoriju, odakle je dobijen izveštaj iz koga se može zaključiti da se radi o teškoj vodi iz reaktora. Kasnije je taj zaključak potvrđen i izveštajem iz Laboratorije za zaštitu od zračenja.

Ceo slučaj sveo se na dosta veliki posao oko dekontaminacije, ali bez ikakvih drugih posledica. Do sličnih slučajeva dolazi povremeno tokom rutinskog rada na reaktoru i u Laboratorijama korisnika reaktora (u zgradi reaktora).

Ono što razlikuje ovaj slučaj od tehničkih sličnih slučajeva, tj. što ga svrstava u akcidentalne slučajeve, jeste teškoća da se tačno utvrdi lična odgovornost počinitelja. Ova odgovornost se deli na dozimetrijsku ekipu, čije je zaduženje da se posle obavljenih operacija pozove ekipa za dekontaminaciju (kojoj ukazuje na objekte koje treba dekontaminirati) i člana dežurne ekipe koji je rukovao pomenutim hvatačem.

U vezi sa gornjim slučajem zaključeno je sledeće:

Što pre dobiti gama-spektrometrijsku jedinicu koja će biti ugrađena u terminal na reaktoru RA, a koja će pored ostalog da služi za redovnu kontrolu stanja u gasnom, D2O, i ventilacionom sistemu, kao i sistemu tehničke vode, radi boljeg razumevanja procesa koji se događaju u reaktoru sa aspekta sigurnosti, a naročito radi rane dijagnoze i prognoze akcidenta u cilju blagovremenog preduzimanja potrebnih mera.

Ovo je još jedan primer potpune neprihvatljivosti organizacione podvojenosti dozimetrijske službe RA od same OOUR koja pogoni reaktor RA. Neophodno je dozimetrijsku ekipu reaktora RA organizaciono i samoupravno uključiti u OOUR Odeljenje nuklearnog reaktora RA.

c. Slučaj povećanog stvaranja praskavca usled procurivanja vertikalnog eksperimentalnog kanala.

Ovaj slučaj, koji se desio u decembru 1975 i januaru 1976. godine, detaljnije je opisan u ranijem tekstu. Međutim, i ovaj slučaj se može svrstati u akcidentalne situacije jer je zbog "hemijske kontaminacije" teške vode došlo do povećanja stvaranja praskavca. Kapacitet sistema za rekombinaciju praskavca u tešku vodu bio je u ovom slučaju još dovoljan da pokrije ovo povećano stvaranje praskavca. Slučaj je uspešno saniran zamenom probušenog kanala i intenzivnom destilacijom teške vode iz reaktora. Međutim i ovde se nameće zaključak da je neophodno uvesti redovnu kontrolu uzoraka iz reaktorskih sistema gama spektrometrijskim postupkom, jer bi se u tom slučaju znalo da je vertikalni eksperimentalni kanal probušen u samom početku, kada je otvor na kanalu još mali i kada je obim "hemijske kontaminacije" D2O još mali. To predstavlja primer "rane dijagnoze" do koje se može doći samo primenom gama spektrometrijskog postupka, sa redovnim i dovoljno čestim uzimanjem i analizom uzoraka.

3. ZAKLJUČAK

1. Reaktor RA radio je u 1976. godini za oko 30% kraće vreme od uobičajenog. Razlog su bili izuzetno veliki obim remontnih i drugih radova u okviru tekućeg i investicionog održavanja, kao i krupnih remonta do kojih je dolazilo zbog kvarova (nastalih zbog neizvršavanja investicionog održavanja u toku poslednjih 6 godina) zatim nemogućnost ranijeg početka korišćenja novog goriva u reaktoru RA i istrošenosti rezervi starog 2% obogaćenog goriva i na kraju obiman program eksperimenata u oblasti sigurnosnih analiza vezanih za uvođenje novog visokoobogaćenog goriva u reaktor RA.
2. Na reaktoru RA uspešno su izvršeni eksperimentalni i teorijski radovi u oblasti sigurnosnih analiza za prevodjenje reaktora RA na novo 80% obogaćeno gorivo, krunisani eksperimentalnom kampanjom reaktora RA u decembru 1976., kojom se završava 17-to godišnji period korišćenja 2% obogaćenog goriva i otpočinje period korišćenja novog 80% obogaćenog goriva u reaktoru RA. Ovaj uspeh je od izuzetnog značaja za reaktor RA i njegove korisnike, jer će rezultovati u povećanju osnovne proizvodnje - neutronske flukse - od 50%, pri porastu cene koštanja rada reaktora od oko 4%. Podnet je zahtev za konačno odobrenje prelaznog režima za uvođenje ovog goriva, kojim se postiže potpuno iskorišćenje starog 2% obogaćenog goriva u reaktoru RA i postiže ušteda od najmanje 2 200 000 dinara.

Ovim se obezbedjuje da u 1977. godini i dalje, rad reaktora ne bude više ometan "kritičnim" ili drugim eksperimentima u vezi sa uvođenjem novog goriva u reaktor.
3. Izvršen je obiman program remontnih i drugih radova veoma akutne prirode, koji takodje omogućuju nesmetan rad u 1977. godini. Neki od ovih radova nisu radjeni nikad ranije, a drugi nisu radjeni u proteklih 6 godina.

Najznačajniji zahvati ove vrste u 1976. godini bili su:

- a. Nabavka Al-cevi od specijalne legure, izrada tehnoloških kanala reaktora RA iz tih cevi i montiranje novih tehnoloških kanala u reaktor RA, uz uklanjanje veoma oštećenih starih kanala. Ovim je izbegnuto zaustavljanje reaktora na neodredjeni rok i dalje odlaganje eksperimenata za uvođenje novog goriva u RA. Dobar deo skraćenja rada reaktora u 1976. godini izazvan je velikim zakašnjenjem u isporuci ovih cevi, potpuno izvan odgovornosti reaktora RA.
 - b. Obimno i delimično uspelo ispitivanje uzroka curenja spoljnjeg suda reaktora. Ovo ispitivanje nije završeno, ali je već obavljenim radovima obezbedjeno da se obim radova u budućnosti veoma umanji.
 - c. Remont teškovodne pumpe "Avala". Ovaj remont je izvršen u rekordno vreme i pored izuzetno teških uslova. Uspešno izvodjenje ovog remonta (prvog ove vrste posle 7 godina) omogućava izvodjenje sličnog remonta preostale dve pumpe, planirano za 1977. godinu, pod povoljnijim uslovima u pogledu kontaminacije i ozračivanja osoblja.
 - d. Zamena dva vertikalna eksperimentalna kanala novim.
4. Izvršenje radova iz zaključaka 2. i 3. po svojoj vrednosti, značaju, težini i obimu uveliko prevazilaze značaj umanjenog rada reaktora iz zaključka 1., pa se zaključuje da je rad na izvršenju projekta "Pogon i održavanje reaktora RA" u 1976. godini bio izuzetno uspešan i od odlučujućeg značaja za normalan rad reaktora u nizu godina koje nastupaju.
 5. Izvršena je nabavka osnovne opreme za izgradnju sistema za hladjenje reaktora u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca, tj. ostvareni su preduslovi za nastavak radova na izgradnji ovog sistema u 1977. godini.

6. Izvršeno je opremanje vrućih komora reaktora RA za intenzivno samostalno ostvarivanje poslovne saradnje sa privredom u cilju proširenja broja i spektra korisnika usluga reaktora RA.

Ostvareni su i drugi preduslovi u tom smislu za uspešno plasiranje neiskorišćenih kapaciteta reaktora RA u 1977. godini. Sva nabavljena ili napravljena oprema (jonizaciona komora za apsolutna merenja, aparat za zavarivanje u argonskoj atmosferi i sl.) neophodna je i za normalno održavanje reaktora RA i merenje njegovih osnovnih eksploatacionih karakteristika.

7. U začetku je integracioni proces između OOUR IBK Odeljenja nuklearnog reaktora RA i Laboratorije za radioisotope. Za reaktor RA osnovni kriterijum za ovaj integracioni proces jeste obezbeđivanje što većeg stepena korišćenja reaktora RA od korisnika iz privrede, medicine, JNA i dr.
8. Neophodno je zatražiti carinsku zaštitu od uvoza radioizotopa koji se mogu aktivirati u reaktoru RA, na način koji se inače primenjuje u našoj zemlji za zaštitu kapaciteta domaće industrije.
9. Reaktor RA dobija od RZNS oko 80-85% neophodno potrebnih sredstava. Ta sredstva dobijena su u 1976. godini uz velike teškoće, zbog davanja dela sredstava preko Projekta iz oblasti nuklearne energetike i neadekvatnog istupanja predstavnika iz IBK u RZNS tokom konkursnog postupka za sredstva za 1976. godinu. Neophodno je obezbediti da se sva sredstva, koja dolaze iz RZNS dodeljuju neposredno projektu "Pogon i održavanje reaktora RA".
10. Sredstva dobijena za 1976. godinu nisu bila dovoljna za sve zahvate u okviru investicionog održavanja i neće biti dovoljna za kompenzaciju poskupljenja nuklearnog goriva u daljem radu reaktora. Sredstva takodje ne pokrivaju rashod za kontrolu okoline IBK (što je do kraja 1974. godine plaćano preko projekta "Zaštita od zračenja")

REFERENCE

1. R. Ivančević i saradnici: POČETAK I ODRŽAVANJE REAKTORA RA, Izveštaj o radu za 1975. godinu, Dokumentacija IBK, Jan. 1976.
2. R. Ivančević, R. Ivančević, S. Čupić, S. Radošević: EKSPERIMENTALNA KONTROLA REAKTORA RA SA 4 KANALIMA SA 50% OBOGAĆENIM GORIVOM, Interni Dokumentacija RA - 114, Dec. 1976. VIŠČ.
3. R. Ivančević, R. Radošević, S. Čupić: IZVEŠTAJ O REZULTATIMA POSREDE STRUČNJAKA IZ IBK INŽINERSTVA TEORIJSKI I EKSPERIMENTALNO FIZIKU U MOSKVI, Interni Dokumentacija RA - 109, Jan. 1976. IBK - VIŠČ.
4. R. Ivančević: MERENI KANALA SA 50% OBOGAĆENIM URANSKIM GORIVOM REAKTORA RA. Interni Dokumentacija RA - 113. Dec. 1976. IBK - VIŠČ.
5. S. Čupić: PRORAČUN TEMPERATURE KOŠULJICA GORIVNIH ELEMENTA REAKTORA RA I UPOREDJENJE SA IZMERENIM VREDNOSTIMA U POKUSIMA KANALA SA 50% OBOGAĆENIM GORIVOM. Interni Dokumentacija RA - 112. Dec. 1976. IBK - VIŠČ.
6. S. Radošević: EFENI RADIJACIONOG OŠTEĆENJA GORIVA REAKTORA RA. Interni Dokumentacija RA - 111. Dec. 1976. IBK - VIŠČ.
7. V. Radošević, R. Ivančević, S. Čupić: PRORAČUN AKTIVNOSTI NEKIH IZOTOPA U VISOKOBOGAĆENOM GORIVU REAKTORA RA, ZNAČAJNOSTI OGRANIČENJA MOGUĆE KONTAMINACIJE OKOLINE. Interni Dokumentacija RA - 107. Decembar 1976. IBK - VIŠČ.
8. S. Radošević: OŠTEĆENOSTE TEHNOLOŠKIH KANALA REAKTORA RA. Interni Dokumentacija RA - 105. Jan. 1976. IBK - VIŠČ.



PRILOG I

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA - OOUR 180

A. Stanić

Podaci o radu i iskorišćenosti reaktora RA
u 1976. godini

-Izveštaj-

Decembar 1976. Vinča

S A D R Ž A J

1. RAD REAKTORA U 1976. GODINI	1
2. REŽIM RADA REAKTORA I SIGURNOSNO ZAUSTAVLJANJE..	9
3. AKCIDENTI	12
4. ISKORIŠĆENOST REAKTORA RA U POGLEDU EKSPERIMENATA I OZRAČIVANJA UZORAKA	16
4.1. Eksperimentalna istraživanja koja se zasnivaju na korišćenju reaktora RA	16
4.2. Podaci o korišćenju eksperimentalnog prostora reaktora RA u 1976. godini	18
4.3. Iskorišćenost vertikalnih eksperimental- nih kanala za ozračivanje uzoraka, na bazi integralnog neutronskeg fluksa	22

1. RAD REAKTORA U 1976. GODINI

Reaktor RA je u toku 1976. godine radio sa znatnijim odstupanjima od plana rada za 1976. godinu, donetog krajem 1975. godine i priloženog u izveštaju po projektu: "Pogon i održavanje reaktora RA" za 1975. godinu - Prilog VI. Odredjena odstupanja su predvidjena planom rada za 1976. godinu (videti "Napomene" uz plan rada za 1975. godinu u gore pomenutom izveštaju).

Medjutim, ni ova procena mogućih odstupanja (napravljena tom prilikom) nije mogla biti korektna iz sledećih razloga:

- Nemogućnost da se predvidi tačan rok isporuke cevi od specijalne aluminijumske legure iz SSSR za izradu tehnoloških kanala,

- Nemogućnost da se predvidi tačno vreme potrebno za remonte kakvi ili nisu radjeni ranije ili su radjeni pre više od 6 godina pod povoljnijim uslovima,

- Nemogućnost da se predvidi tačno vreme za eksperimente u okviru (uspešno provedenog) programa prevodjenja reaktora RA na novo visokobogaćeno gorivo, pošto neki od ovih eksperimenata takodje nikada ranije nije radjen.

Sem toga bilo je i nepredvidjenih većih remontnih radova zbog nepredvidjenih kvarova.

Planirane su 6 izmene goriva, i to:

Sredinom februara, sredinom aprila, početkom maja, početkom jula, početkom oktobra i početkom decembra. Ovaj plan izmena ostvaren je uz sledeća odstupanja:

- Izmena planirana za 13.II. ostvarena je 17.II.1976. godine,
- Izmena planirana u aprilu, ostvarena je 3. i 4. marta,
- Izmena planirana 4. i 5. maja, ostvarena je 6. i 7. maja,
- Izmena planirana u julu nije ostvarena, već je sledeća izmena ostvarena 9. i 10. septembra,

- Izmena planirana za oktobar, ostvarena je 4. i 5. novembra,
- Izmena planirana početkom decembra, ostvarena je 14. i 15. decembra.

Podaci o planiranom i ostvarenom radu reaktora RA za 1976. godinu dati su u Tabeli 1.

U toku 1976. godine bilo je odredjenih odstupanja od plana rada reaktora kao i prekida rada. Bilo je 10 zakašnjenja u startu reaktora na početku mesečnih kampanji, u ukupnom trajanju od 1181 časova, i jedno ranije kretanje reaktora od 48 časova. Kraćih prekida i sigurnosnih zaustavljanja je bilo 12 u ukupnom trajanju od 64 časova.

Podaci o odstupanjima od plana rada reaktora RA dati su u Tabeli 2., dok su podaci o kraćim prekidima dati u Tabeli 3.

TABELA 1. - Realizacija godišnjeg plana rada reaktora RA za 1976. godinu

Mesec	Rad na 6,5 MW (period i broj dana rada)				Rad na manjim snagama		Izmena goriva		Rad u MWh	
	Planirano*		Ostvareno		Plan	Ostvareno	Plan	Ostvareno	Plan	Ostvareno
Januar	5-14	9	5-15	10	-	5	0.4	-	1404	1235
Februar	16-25	9	18-26	8	9-12	9-13 i 18	14	13-15	1404	1196
Mart	1-22	21	5-25	20	23-25	26	5	3-4	3276	3129
April	17-25	8	20-29	9	14-16	20,30	3	15-16	1248	1304
Maj	6-26	20	10-25	15	28-29	-	-	4-5	3120	2369
Juni	4-25	21	4-25	21	-	-	-	-	3276	3252
Juli	3-13	10	1-10	9	14-15	1	0.4	1-2	1560	1372
August	26-31	5	-	-	-	-	-	-	780	-
Septembar	1-23	22	13-30	17	24-25	13	0.5	9-10	3432	2418
Oktobar	3-22	19	4-5	1	23-25	26-31	8.5	1-2	2964	150
Novembar	1-22	21	8-24	16	23-25	1,8	2.6	4-5	3276	2331
Decembar**	3-24	21	15-25	10	25-26	-	-	1-2	3276	1560
Ukupno:	186		136		34 h				29016	20316

* Rad reaktora za 1976. godinu planiran je samo uslovno, kao što se vidi iz napomene uz Plan rada za 1976. godinu, čija je kopija priložena na strani 4.

** U toku pisanja izveštaja, decembarska kampanja je bila u toku.

N A P O M E N E

Uz Plan rada reaktora RA za 1976. godinu

Za razliku od prethodnih godina izrada plana rada reaktora RA za 1976. godinu vezana je sa mnogo više neizvesnosti nego ikada ranije iz sledećih razloga:

1. U februaru se vrši veći remont opreme i uklanjanje posledica procurivanja vertikalnog eksperimentalnog kanala VK-4 do koga je došlo decembra 1975. godine, najverovatnije zbog neadekvatnog čišćenja tog kanala od strane ekipe za intervencije i dekontaminacije. Sem toga u februaru se vrše merenja na minimalnim snagama u sklopu priprema za prelazak na novo gorivo, a koje su započete 1975. godine.
2. U aprilu će morati da bude izvršena akcija lociranja mesta preko koga ističe **vazduh** na nekom od horizontalnih eksperimentalnih kanala, kao i otklanjanje uzroka ovog curenja.
3. Prvo ubacivanje novog goriva u cilju njegovog testiranja pod radnim uslovima, uz postepeno povećanje snage do nominalne snage, planira se da bude izvršeno u aprilu 1976. godine. Posle ovog testiranja novo gorivo ostalo bi u reaktoru u normalnoj eksploataciji, na nominalnoj snazi. **Kompletan** program prevodjenja reaktora na novo gorivo biće dostupan krajem februara 1976. godine i biće analiziran uz učešće stručnjaka iz IBK tokom februara i marta.
4. **Planirano** je da se smanji obim rada reaktora usled izvodjenja radova iz gornje tri tačke nadoknaditi u potpunosti u periodu maj-decembar 1976. godine. Medjutim, **priroda** radova navedenih pod gornjim tačkama 1.-3. je **tekva** da su moguća **odstupanja** u ukupnom iznosu do 14 dana. Ovakva **odstupanja** neće moći da budu u celini **kompenzovana** i OCUR 180 neće moći da odgovara za eventualne

posledice ovakvih odstupanja kod korisnika usluga reaktora RA.

5. U uslovima normalne eksploatacije reaktora RA OOUR 180 ne odgovara za posledice zastoja rada reaktora RA po korisnike iz IBK i van institutske korisnike, ukoliko bi ti zastoji nastali zbog nestanka električne energije ili nepredvidjivih kvarova i akcidentalnih situacija. Odstupanja od plana rada reaktora RA iz ovih razloga OOUR 180 kompenzovaće početkom rada reaktora, ali samo za zastoj kraće od 32 časa po jednoj kampanji.
6. Za sve izmene u planu rada reaktora RA za 1976. godinu OOUR 180 se obavezuje da obavesti korisnike što je moguće ranije.

Molimo korisnike usluga reaktora RA da gornje napomene imaju u vidu i da ih uzmu u obzir prilikom preuzimanja obaveza prema svojim korisnicima u toku 1976. godine.

TABELA 2.: ODSTUPANJA OD PLANA U RADU REAKTORA

Mesec	Uzroci odstupanja od plana rade
Januar	RA je počeo sa radom oko 15.00 časova, zbog kvara el. mreže na taložniku.
Februar	RA je počeo sa radom 18.II.76., a ne po planu 16.II.76., zbog eksperimenata sa 80% obogaćenim gorivom u reaktoru, kao i zbog intenzivne destilacije D ₂ O, radi uklanjanja uzroka povećanog stvaranja praskavca u januaru.
Mart	RA je počeo sa radom 5.III.76., a ne po planu 1.III.76. radi izmene goriva koja nije bila planirana.
April	RA je počeo sa radom 20.IV.76., a ne po planu 17.IV.76. radi ispitivanja curenja spoljnog suda reaktora.
Maj	RA je počeo sa radom 10.V.76., a ne po planu 6.V.76., radi ispitivanja 10 tehnoloških kanala na dotrajalost kao i normalne izmene goriva.
Juli	RA je krenuo 1.VI.76. a ne po planu 3.VI.76., tj. 2 dana ranije radi korišćenja godišnjeg odmora.
Avgust	RA nije radio u avgustu kao što je predviđeno u planu, a u septembru je krenuo 13.IX.76., a ne po planu 1.IX.76., radi izrade i montiranja aluminijumskih tehnoloških kanala i premeštanje
Septembar	goriva iz oštećenih u novih 30 kanala, kao i normalne zamene goriva. Ovo zakašnjenje je direktna posledica velikog zakašnjenja u isporuci Al. cevi za gorivne kanale (koje su isporučene tek krajem avgusta 1976., za vreme godišnjeg odmora) i veoma lošeg stanja ovih kanala u reaktoru.

Mesec	Uzroci odstupanja od plana rada
Oktobar	U ovom mesecu reaktor je trebao da radi po izmenjenom planu do 5.okobra, ali je radio samo 24 časa zbog male rezerve goriva u reaktoru (nemogućnosti da se zbog neblagovremene isporuke Al. cevi iz SSSR ranije predje na korišćenje 80% obogaćenog goriva) i visoke temperature dunavske vode. Reaktor nije do kraja meseca radio na nominalnoj snazi zbog izvodjenja prvih eksperimenata sa 80% obogaćenim gorivom na srednjim snagama reaktora, što je omogućeno tek izradom novih Al. tehnoloških kanala u septembru.
Novembar	RA je krenuo 9.XI.76., a ne po planu 1.XI.76. radi eksperimenata: ispitivanje efekta unošenja novog 80% obogaćenog goriva na malim i srednjim snagama kao i normalna zamena goriva.
Decembar	RA je krenuo 17.XII.76. a ne po planu 3.XI.76. radi odobrenja unošenja novog 80% obogaćenog goriva u reaktor, i remonta teškovodne pumpe "A".
Napomena:	Uobičajeno je da reaktor RA počinje sa radom oko 10.00 časova, te se podizanje reaktora na nominalnu snagu od 6,5 MW posle toga vremena smatra zakašnjenjem.
- U januaru je reaktor radio 196 časova na 5 MW radi porasta temperature kontaktnog aparata i katalizatora, tj. povećanog stvaranja praskavog gasa.	
- U februaru je reaktor radio 38 časova na snazi od 6 MW iz razloga sigurnosti vezanih za otklanjanje uzroka povećanog stvaranja praskavca u januaru.	
- U julu je reaktor radio 169 časova na snazi od 6,1 MW zbog visoke temperature dunavske vode i nemogućnosti da se predje na odgovarajući rad D ₂ O pumpi od 3000 o/min., zbog oštećenosti grivnih kanala, tj. neisporuke aluminijuma iz SSSR.	

TABELA 3: PREGLED KRAĆIH PREKIDA U RADU REAKTORA U 1976.

Datum	Uzrok prekida
14.I.76.	Reaktor je zaustavljen u trajanju od 25 minuta radi popravke malog hvatača.
28.IV.76.	Reaktor je prešao na snagu od 5 MW u trajanju od 13 časova radi ispitivanja razloga uzroka potrebe za češće prelivanje D ₂ O kondenzata.
20.IX.76.	Reaktor je privremeno zaustavljen u trajanju od 24 časa radi curenja vode na cevi donjeg ležišta pumpe "A" prema ventilu A-4.
16.XI.76.	Zbog dužeg nestanka napona (1 čas) RA je ušao u jodnu jamu, pa je zbog malog viška uradjene reaktivnosti mogao da se digne na snagu tek posle 22 časa od trenutka zaustavljanja.
Napomena:	Pod kraćim prekidima podrazumevaju se zastoji do 24 časa.

2. REŽIM RADA REAKTORA I SIGURNOSNO ZAUSTAVLJANJE

U 1976. godini reaktor R je radio na nominalnoj snazi od 6.5 MW (izuzev u januaru i julu kada je nominalna snaga nešto smanjena) i drugim manjim snagama po zahtevima eksperimentatora.

Hladjenje reaktora vršeno je radom teškovodnih pumpi na 1500 o/min. Nije bilo rada pumpi na 3000 o/min.

U 1976. godini reaktor je 8 puta sigurnosno zaustavljen.

Uzroci sigurnosnih zaustavljanja su bili sledeći:

- nestanak napona 6
- kvar opreme i instrumentacije..1
- kod manipulisanja sa uzorcima f
(zbog male reaktivnosti).....1

Po mesecima sigurnosna zaustavljanja su bila:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	5	-

U januaru, februaru, martu, aprilu i junu reaktor nije ni jednom sigurnosno zaustavljen.

Zbog nestanka napona bilo je 6 sigurnosnih zaustavljanja i to:

U septembru 1 a u novembru 5.

Ispadanje reaktora zbog opreme bilo je jedno u maju, a ispadanje reaktora kod manipulisanja sa uzorcima (zbog male reaktivnosti) bilo je jedno u junu.

Uzrok ispadanja reaktora u maju je bio:

- Blokiranje pojačavača UA-10 zbog nekorektne frekvence napajanja instrumenta.

Pregled broja sigurnosnih zaustavljanja za proteklih nekoliko godina dat je u Tabeli 4.

TABELA 4. PREGLED BROJA SIGURNOSNIH ZAUSTAVLJANJA ZA PROTEKLIH NEKOLIKO GODINA

Godina	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Rad u MWh	31015	30625	31051	31131	25968	31606	31151	30504	30711	30002	20316
Broj zaust. zbog napona	37	17	14	15	15	9	6	7	8	5	6
Učestanost MWh/zaust.	832	1801	2218	2075	1731	3511	5192	4358	3839	6000	3386
Broj zaust. iz drugih razloga	7	2	6	5	2	3	1	5	3	4	2
Učestanost MW/h	4428	15312	5175	7783	12984	10535	31151	6101	10237	7500	10158

Iz Tabele 4. se vidi da je u ovoj godini broj sigurnosnih zaustavljanja zbog napona približno na nivou poslednje četiri godine, kada je broj zaustavljanja iz ovog razloga uočljivo manji nego prethodnih godina.

To je posledica stabilnije mreže i pouzdanijeg snabdevanja električnom energijom.

TABELA 5.: PREGLED BROJA SIGURNOSNIH ZAUSTAVLJANJA REAKTORA
ZBOG OTKAZIVANJA OPREME I GREŠAKA OSOBLJA

Godina	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Rad u MWh	31051	31131	25968	31606	31151	30504	30711	30002	20316
Broj is- padanja zbog op- reme	4	3	2	1	1	3	-	4	1
Broj is- padanja zbog gre- ške osoblja	2	2	-	2	2	2	3	-	-

3. AKCIDENTI

U toku 1976. godine nije bilo akcidenata većih razmera na reaktoru RA. Medjutim, dva slučaja mogu se opisati kao akcidentalne situacije, ne po stvarnim posledicama, već po načinu na koji su nastali.

Radi se o sledeća dva slučaja:

- a. Slučaj prskanja cevi kod ležaja teškovodne pumpe "Avala". Ovo je kvar čisto tehničke prirode, koji se nije mogao **predvideti** i koji je normalnim okolnostima vezan za neznatne posledice. Medjutim, u konkretnom slučaju došlo je do izliva oko 18 litara D2O hladioca, zbog zakašnjenja u intervenciji od oko 12 časova. Ova voda nije izgubljena, ali se ne može vratiti u reaktor pre podvrgavanja procesu regeneracije izotopnog sastava, što predstavlja određenu štetu. Medjutim, ono što uvodi elemente akcidentalne situacije nije ovaj relativno mali gubitak D20, već način na koji se došlo do pomenutog zakašnjenja u intervenciji od oko 12 časova.

Na defekte ovakve vrste ukazuju dva davača signala "vlažnosti", od kojih je jedan bio neispravan. Medjutim, signal sa drugog davača, blagovremeno uočen od operatora reaktora, naknadno je blokiran od strane dežurnog električara u istoj smeni. Stručna komisija formirana za ispitivanje ovog slučaja, došla je do zaključka da je do toga došlo u najvećoj meri zbog neznanja tog električara (koji inače ima položen ispit za pogonskog električara), mada se svakako ne može isključiti ni veoma grubo nehat. Dežurni električar je suspendovan do daljeg, a donet je zaključak da se za ostalo osoblje (bez obzira na mnogo bolji stručni profil ostalog smenskog osoblja u poredjenju sa pomenutim električarem) primeneni češća periodična obnova i provera znanja.

- b. Slučaj kontaminacije hale i hodnika neposredno pre novembarske izmene goriva.

U ovom slučaju do kontaminacije je došlo prilikom pripreme mašine za izmenu goriva. Najverovatnije se radi o nedovoljno brižljivom sušenju hvatača goriva prilikom prethodne izmene goriva i slivanja male količine aktivne D2O u kesu kojom je hvatač odvojen od okoline. Kod pripreme mašine za izmenu goriva pred novembarsku kampanju, prilikom prenošenja hvatača moguće je da je kesu probušena i teška voda se izliva na pod, pa je raznošenjem obućom kontaminacija ubrzo raznesena po hali RA i hodniku.

Pre donošenja ovog zaključka uzorak materijala kojim je izvršena kontaminacija poslat je na gama-spektrometrijsku analizu u Laboratoriji za zaštitu od zračenja. Pošto rezultate nismo mogli dobiti ni posle veoma dugog vremena, drugi uzorak poslat je na analizu u Fizičku laboratoriju, odakle je dobijen izveštaj iz koga se može zaključiti da se radi o teškoj vodi iz reaktora. Kasnije je taj zaključak potvrđen i izveštajem iz Laboratorije za zaštitu od zračenja.

Ceo slučaj sveo se na dosta veliki posao oko dekontaminacije, ali bez ikakvih drugih posledica. Do sličnih slučajeva dolazi povremeno tokom rutinskog rada na reaktoru i u Laboratorijama korisnika reaktora (u zgradi reaktora).

Ono što razlikuje ovaj slučaj od tehničkih sličnih slučajeva, tj. što ga svrstava u akcidentalne slučajeve jeste teškoća da se tačno utvrdi lična odgovornost počinitelja. Ova odgovornost se deli na dozimetrijsku ekipu, čije je zaduženje da se posle obavljenih operacija pozove ekipa za dekontaminaciju (kojoj ukazuje na objekte koje treba dekontaminirati) i člana dežurne ekipe koji je rukovao pomenutim hvatačem.

U vezi sa gornjim slučajem zaključeno je sledeće:

Što pre dobiti gama-spektrometrijsku jedinicu koja će biti ugrađena u terminal na reaktoru RA, a koja će pored ostalog da služi za redovnu kontrolu stanja u gasnom, D2O, i ventilacionom sistemu, kao i sistemu tehničke vode, radi boljeg razumevanja procesa koji se događaju u reaktoru sa aspekta sigurnosti, a naročito radi rane dijagnoze i prognoze akcidenta u cilju blagovremenog preduzimanja potrebnih mera.

Ovo je još jedan primer potpune neprihvatljivosti organizacione podvojenosti dozimetrijske službe RA od same OOUR koja pogoni reaktor RA. Neophodno je dozimetrijsku ekipu reaktora RA organizaciono i samoupravno uključiti u OOUR Odeljenje nuklearnog reaktora RA.

c. Slučaj povećanog stvaranja praskavca usled procurivanja vertikalnog eksperimentalnog kanala.

Ovaj slučaj, koji se desio u decembru 1975 i januaru 1976. godine, detaljnije je opisan u ranijem tekstu. Međutim, i ovaj slučaj se može svrstati u akcidentalne situacije jer je zbog "hemijske kontaminacije" teške vode došlo do povećanja stvaranja praskavca. Kapacitet sistema za rekombinaciju praskavca u tešku vodu bio je u ovom slučaju još dovoljan da pokrije ovo povećano stvaranje praskavca. Slučaj je uspešno saniran zamenom probušenog kanala i intenzivnom destilacijom teške vode iz reaktora. Međutim i ovde se nameće zaključak da je neophodno uvesti redovnu kontrolu uzoraka iz reaktorskih sistema gama spektrometrijskim postupkom, jer bi se u tom slučaju znalo da je vertikalni eksperimentalni kanal probušen u samom početku, kada je otvor na kanalu još mali i kada je obim "hemijske kontaminacije" D2O još mali. To predstavlja primer "rane dijagnoze" do koje se može doći samo primenom gama spektrometrijskog postupka, sa redovnim i dovoljno čestim uzimanjem i analizom uzoraka.

4. ISKORIŠĆENOST REAKTORA RA U POGLEDU EKSPERIMENATA I OZRAČIVANJA UZORAKA

4.1. Eksperimentalna istraživanja koja se zasnivaju na korišćenju reaktora RA.

Eksperimente na reaktoru RA prema režimu rada možemo podeliti u dve grupe:

- I. Eksperimenti koji se obavljaju na nominalnoj snazi reaktora uz istovremena ozračivanja u svrhu proizvodnje izotopa.
- II. Eksperimenti koji zahtevaju specijalni režim rada reaktora, a koji se obavljaju u vremenu rezervisanom za "rad na drugim snagama".

Iz prve grupe u 1976. godini vršeni su sledeći eksperimenti:

1. Fizika čvrstog stanja pomoću kristalnih neutronske spektrometra.

a) Kanal "A" - Dr J. Konstantinović

Merenje četvorodimezionalne funkcije rezolucije hibridnog sistema monokristala - mehanički selektor neutrona.

b) Kanal "B" - Mr Jugoslav Todorović

Istraživanje magnetnih osobina koherentnih i nekoherentnih efekata u čvrstim i tečnim telima neelastičnim rasejanjem neutrona. Prema ovom programu odredjivana je magnetna struktura na Heusler-ovim legurama i legurama tipa $Mn_xFe_ySi_3$ kao i fazni prelaz prve vrste na monokristalu Mn_2Sb .

c) Kanal "C" - Dr Dj. Jović

Na kanalu postavljen je spektrometar za merenje vremena preleta neutrona.

Radjeno je na istraživanju strukture i dinamičkih osobina tečnih metala.

d) Kanal "D" - Dr M. Živanović

Na kanalu je postavljen trokristalni neutronske spektrometar.

Radjeno je:

- na istraživanju feroelektrike tipa $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- sniman je spektar nekih organskih kiselina metodom Be-filtra.

e) Kanal "F" - Dr J. Konstantinović

Radjeno je na istraživanju magnetne i strukturne osobine legure MnAl. Uredjenje kratkog dometa u MnO u funkciji temperature.

2. Proučavanje (n, γ) reakcije pomoću poluprovodničkog gama spektrometra.

a) Kanal "E" - Dr J. Simić i Dr S. Koički

Zbog kvara dva GeLi detektora koji se još uvek nalaze na popravci nije se moglo raditi na kanalu.

3. Ozračivanje aktivacionih detektora, fiziološkog rastvora i uzoraka krvi, kao i baždarenje dozimetrijskih uređaja u TK.

- I. Mirić, Ž. Ubović, D. Veličković

Iz druge grupe eksperimenata u 1976. godini vršena su sledeća ispitivanja:

1. Eksperimentalno odredjivanje nekih faktora koji utiču na vrednost aktivacije Na-24 u krvi osobe ozračene mešovitim snopom neutrona (iznad VK-5) i odredjivanje faktora koji utiču na vrednost apsorbirane doze neutrona.

- Ž. Ubović i I. Mirić

2. Merenje raspodele neutronske fluksa u reaktoru RA ozračivanjem Co i Cu aktivacionih detektora.

- R. Martinc i S. Cupać

Za ove eksperimente reaktor je radio 34 časa, dok je rezervisano vreme za ovu vrstu eksperimenta po planu iznosilo 198 časova, što znači da je od eksperimentatora iskorišćeno 17% raspoloživog vremena.

4.2. Podaci o korišćenju eksperimentalnog prostora reaktora RA u 1976. godini.

Za analizu iskorišćenosti eksperimentalnog prostora reaktora uzimamo kao merilo faktore brojnog i vremenskog korišćenja tih prostora.

Faktor brojnog korišćenja (β) za VEK je računat na taj način što se smatra korišćenim svaki kanal koji u sebi sadrži makar jedan kener sa uzorcima za ozračivanje, a za HEK i TK ako je na njima izveden makar jedan eksperiment ili jedno ozračivanje.

Faktor vremenskog korišćenja (τ) za VEK je računat kao odnos vremena zauzetosti kanala makar jednim kenerom prema ukupnom radu reaktora od 3125 časova u 1976. godini.

Vreme ukupnog rada reaktora dobijeno je svodjenjem reaktora od 20316 MWh na rad od 6.5 MW.

Faktor vremenskog korišćenja (τ) za HEK i TK dobiven je kao odnos vremena u kome je kanal bio otvoren prema ukupnom radu reaktora na nominalnoj snazi tj. 3192 časova.

1. Korišćenje VEK u aktivnoj zoni (ukupno 9 kanala):

$$\text{brojno } \beta = \frac{9}{9} = 100 \%$$

$$\text{vremenski } \tau = \frac{27550}{28125} = 98 \%$$

2. Korišćenje VKG:

$$\text{brojno } \beta = \frac{18}{34} = 53 \% \quad \left(\frac{18}{22} = 82 \% \right)$$

$$\text{vremenski } \zeta = \frac{40643}{106250} = 38 \% \quad \left(\frac{40643}{68750} = 59\% \right)$$

Od 34 kanala u grafitnom reflektoru 12 su kraći i nekoriste se. Brojevi u zagradi daju faktor korišćenja samo dužih kanala. Kanali VKG-28, 29, 30. i 31. zauzeti su na petlji CO₂.

3. Korišćenje horizontalnih kanala (ukupno 7 kanala) i termalne kolone:

$$\text{brojno } \beta = \frac{7}{8} = 86 \%$$

$$\text{vremenski } \zeta = \frac{12022}{22344} = 54 \%$$

TABELA 6. PREGLED VREMENSKOG KORIŠĆENJA POJEDINIH GRUPA KANALA PO GODINAMA

Godina	Grupa		K a n a l a		
	VEK	VKG	VKB	HEK i TK	
1.	2.	3.	4.	5.	
1964	100%	52% (80%)	0,65%	21%	
1965	100%	56% (86%)	-	34%	
1966	98%	58% (89%)	9%	35%	
1967	94%	50% (77%)	26%	39%	
1968	85%	54% (84%)	17%	56%	
1969	89%	53% (82%)	3,5%	61%	
1970	89%	53% (82%)	19%	58%	
1971	92%	29% (45%)	16%	70%	
1972	100%	52% (49%)	4%	67%	
1973	100%	17% (26%)	-	65%	
1974	99%	41% (64%)	1,3%	51%	
1975	100%	30% (46%)	-	45%	
1976	98%	38% (59%)	-	54%	

Znatno više procentualno iskorišćenje grupe VKG kanala u poslednje dve godine je ubacivanje europijuma u iste.

Faktor vremenskog korišćenja za pojedine horizontalne kanale iznosi:

HEK "A"	τ	$= \frac{667}{3192} = 21\%$
HEK "B"	τ	$= \frac{3192}{3192} = 100\%$
HEK "C"	τ	$= \frac{1361}{3192} = 43\%$
HEK "D"	τ	$= \frac{2815}{3192} = 88\%$
HEK "E"		nije korišćen 1976.
HEK "F"	τ	$= \frac{2922}{3192} = 92\%$
TK	τ	$= \frac{866}{3192} = 27\%$

Korišćenje pojedinih horizontalnih kanala po mesecima dato je u Tabeli 7.

TABELA 7.: KORIŠĆENJE POJEDINIH HORIZONTALNIH KANALA PO MESECIMA

M e s e c	A	B	C	D	E	F	TK	UKUPNO
Januar	-	235	-	168	-	228	-	631
Februar	-	185	-	80	-	160	4	429
Mart	465	479	431	470	-	465	-	2310
April	202	202	190	195	-	202	119	1110
Maj	-	535	490	485	-	530	142	2182
Juni	-	402	250	480	-	500	153	1785
Juli	-	220	-	180	-	222	33	655
Avgust	-	-	-	-	-	-	-	-
Septembar	-	363	-	362	-	363	242	1330
Oktobar	-	-	-	-	-	-	-	-
Novembar	-	331	-	155	-	12	173	671
Decembar	-	240	-	240	-	240	-	720
UKUPNO:	667	3192	1361	2815	-	2922	866	11823

4.3. Iskorišćenost vertikalnih eksperimentalnih kanala za ozračivanje uzoraka, na bazi integralnog neutronskog fluksa.

Podaci o brojnoj i vremenskoj iskorišćenosti vertikalnih eksperimentalnih kanala iz Tabele 6. na strani 18. i 19. ne daju potpunu i realnu sliku o stvarnoj angažovanosti kapaciteta reaktora RA u pogledu aktiviranja uzoraka za potrebe proizvodnje radioaktivnih izotopa i dr.

Realniju sliku daju podaci o iskorišćenosti integralnog fluksa termalnih neutrona u ovim kanalima, u odnosu na godišnji kapacitet reaktora u pogledu integralnog fluksa.

Pri tome se pod integralnim fluksom podrazumeva proizvod fluksa i vremena po zapremini jednog kenara za smeštaj uzoraka za ozračivanje u reaktoru.

"Utrošak" integralnog fluksa za ozračivanje uzoraka, izražen u "jedinicama usluge ozračivanja", dat je za sve vrste uzoraka u Tabeli 8.

Pri tome je "jedinica usluge ozračivanja" definisana kao proizvod neperturbovanog apsolutnog fluksa termalnih neutrona (karakterističnog za sve pozicije kenara u vertikalnim kanalima) izraženog u jedinicama od $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i vreme ozračivanja u časovima.

Broj utrošenih jedinica usluge ozračivanja koriguje se još "faktorom kanala" (kojim se daje veća težina za kanale sa većim fluksom neutrona ili većim prečnikom) i faktorom kojim se uzima u obzir depresija fluksa u susednim pozicijama za ubacivanje kenara sa uzorcima, prouzrokovana jakoapsorbirajućim uzorcima.

Kod određivanja godišnjeg kapaciteta reaktora za ozračivanje uzoraka, izraženog u ovim "jedinicama usluge ozračivanja" uzet je u obzir manipulativni kapacitet od 4 kenara sa uzorcima po jednom vertikalnom kanalu.

Ovako odredjen godišnji kapacitet reaktora po svim **vertikalnim** kanalima u aktivnoj zoni i grafitnom reflektoru iznosi 87141⁶ jedinica usluge ozračivanja.

Podaci o ozračivanju uzoraka u reaktoru RA izvršeni u 1976. godini i izraženim preko angažovanog integralnog fluksa, tj. u jedinicama usluga ozračivanja date su na Tabeli 8.

Uporedne vrednosti angažovanja kapaciteta reaktora za ozračivanje uzoraka za 1974., 1975. i 1976. godinu date su na Tabeli 9.

TABELA 9.: UTROŠAK INTEGRALNOG FLUKSA ZA PROIZVODNJU
RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Godina	Broj uzoraka	Utrošeni integralni fluks (u jedinicama usluge ozračivanja)	Iskorišćenost u odnosu na godišnji kapacitet reaktora
1974	409	526003	47,8%
1975	457	699368	63,6%
1976	311	368119	42%

TABELA 8.: IZVRŠENE USLUGE OZRAČIVANJA U 1975. i 1976. GODINI
IZRAŽENE U JEDINICAMA USLUGA OZRAČIVANJA

Godina		1975.		1976.	
Red. br.	Uzorak	Broj uzor.	Broj jedinica usluga ozračivanja	Broj uzor.	Broj jedinica usluga ozračivanja
1.	2.	3.	4.	5.	6.
(Za potrebe Laboratorije za radioizotope)					
1.	H_2TeO_4	138	136 568	118	116 135
2.	Au	56	6 272	34	4 668
3.	Eu_2O_3	32	68 996	30	62 779
4.	HgO	18	95 711	19	31 411
5.	Ir	21	79 810	20	59 399
6.	Co	36	11 465	16	4 282
7.	Sc, Sn	9	34 642	10	34 772
8.	KCl	7	14 861	8	14 490
9.	$MgSO_4$	18	66 476	5	8 534
10.	MoO_3	28	37 446	15	14 682
11.	Pt+Ir	4	698	2	257
12.	Sm_2O_3	-	-	2	3 143
13.	Re	-	-	1	238
14.	$SrCO_3$	1	15 223	2	3 467
15.	Cr_2O_3	9	29 398	1	2 340
16.	CeO_2	2	1 212	1	2 458
17.	Ce_2O_3	-	-	1	353
18.	$CaCO_3$	2	61 517	1	1 311
19.	Na_2CO_3	-	-	1	5

1.	2.	3.	4.	5.	6.
20.	Uzorci ruda	1	6	4	874
21.	Oksid urana	-	-	1	78
22.	Organ.i neorgan. priroda	-	-	1	240
23.	Biološki materijal	2	192	-	-
24.	Yb	1	27	-	-
25.	Fe ₂ O ₃	1	33 853	-	-
26.	Sn	2	5 141	-	-
27.	BaBr ₂	1	163	-	-
28.	CuO	1	27	-	-
29.	Al ₂ O ₃	1	10	-	-
30.	Seme suncokreta	1	6	-	-
31.	Mo, Cu, Co, Fe	2	163	-	-
Svega:		394	629 068	293	366 916

1.	2.	3.	4.	5.	6.
(Za ostale korisnike)					
1. HfO_2	4	60	3	391	
2. $\text{Hf}(\text{SO}_4)_x \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	-	2	578	
3. GaAs	-	-	2	1	
4. Ge	-	-	3	1	
5. Na	39	-	4	-	
6. Piletina	-	-	2	206	
7. Riba	-	-	1	26	
8. KMnO_4	-	-	1	-	
9. Zn	11	-	-	-	
10. Ga	8	-	-	-	
11. NaCl	1	-	-	-	
12. HfIg	1	240	-	-	
Svega:	64	300	18	1 203	
Ukupno za sve korisnike)					
Svega:	457	699 368	311	368 119	

PRILOG II

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" -- Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA -- OOUR 180



CS06RA374

J. Radivojević

Rad službe za održavanje mašinske
opreme reaktora RA u 1976. godini

-- Izveštaj --

Decembar 1976. -- Vinča

1. ORGANIZACIJA SLUŽBE ZA ODRŽAVANJE MAŠINSKE OPREME . . .	1
2. STANJE, REVIZIJA I REMONT MAŠINSKE OPREME REAKTORA RA	1
2.1. Sistem teške vode	3
2.2. Gasni sistem reaktora RA	4
2.3. Sistem tehničke vode	4
2.4. Sistem ventilacije i grejanja	4
2.5. Centralno telo reaktora	5
2.6. Transportna oprema	6
2.7. Vremensko korišćenje uređaja i opreme	6
3. PRIRUČNA RADIONICA REAKTORA RA	7
3.1. Održavanje opreme	7
3.2. Izrada novih elemenata	8
3.3. Usluge radnim jedinicama	9
4. PRIRUČNI MAGACIN REAKTORA RA	10
4.1. Održavanje opreme	10
4.2. Izrada novih elemenata opreme	11
4.3. Troškovi smenskog vozila	11
4.4. Troškovi goriva, helijuma i teške vode	11
4.5. Rekapitulacija utroška materijala za period od 1.I.1976. godine do 30.XI.1976. godine	11

1. ORGANIZACIJA SLUŽBE ZA ODRŽAVANJE MAŠINSKE OPREME

Služba održavanja mašinske opreme reaktora RA ima jednog radnika sa visokom spremom (rukovodilac službe), jednog tehničkog saradnika i 8 visokokvalifikovanih radnika metalske strukture, koji rade u priručnoj radionici reaktora RA. Sem toga u okviru ove službe nalazi se i priručni magacin reaktora RA (mada se u tom magacinu nalazi i materijal koji koriste ostale službe reaktora RA).

Radovi na održavanju mašinske opreme obavljaju se prema planu održavanja i remonta. Služba održavanja mašinske opreme dimenzionisana je tako da može da otkloni i veće kvarove reaktorske opreme za relativno kratko vreme, što je svakako jedan od faktora koji su doprineli izvršavanju godišnjih planova rada reaktora RA tokom niza godina, praktično bez odstupanja. Kod remonta osnovnih reaktorskih sistema (sistem teške vode, sistem tehničke vode i sistem gasa), angažovani su podjednako radnici pogona reaktora RA i radnici službe održavanja reaktora RA.

Priručna radionica reaktora RA, pored poslova na održavanju mašinske i delimično merne i elektro opreme reaktora RA radi i na drugim planskim zadacima, a povremeno i na izvršenju određenih usluga institutskim i van institutskim korisnicima.

Priručni magacin reaktora RA obezbeđuje sav alat i materijal potreban za opravku i održavanje opreme reaktora RA, a takođe i rezervne delove i potrošni materijal za tekuće održavanje.

2. STANJE, REVIZIJA I REMONT MAŠINSKE OPREME REAKTORA RA

Najveći deo radova službe mašinskog održavanja odnosi se na kontinuirani pregled i održavanje uređaja u stalnoj radnoj sposobnosti.

U toku 1976. godine evidentirana su dva veća kvara na mašinskoj opremi reaktora RA i to curenju teške vode na cevi pokre-

zivača istrošenosti ležišta pumpe "A" i povećava vibracije teškovodne pumpe "A". Prvi kvar je nastao usled odvajanja u varu zaostale šljake. Drugi kvar je nastao usled istrošenosti radijalnih ležišta pumpe.

Pored ovih registrovano je još nekoliko manjih kvarova, koji nisu imali uticaja na rad reaktora.

Neispravnost mašinske opreme po godinama (registrovano od smenskog osoblja) bile su sledeće:

Neispravnost	1968	1969	1970	1971	1972	1973	74	75	76
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Sistem D20</u>									
Ventili	-	1	1	-	1	-	1	-	-
Kompresor u destilaciji	-	1	1	-	-	1	1	-	1
Pumpa za hladjenje grafita	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Vakuummet. i manom. u dest.	2	1	-	-	-	-	1	1	2
<u>Sistem helijuma</u>									
Curenje ulja na gasnoj duvaljci ili ventilu	-	1	1	-	-	1	1	1	1
<u>Sistem teh.vode</u>									
Curenje na cevovodu	1	2	3	2	1	-	-	-	-
Zasuni-ventili	1	2	2	1	-	1	1	-	1
Pumpa za unut. cirkulaciju	-	-	-	-	-	1	1	-	1
DOZ pumpa	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Ventilacija i grejanje</u>									
Kvar klapni ventil.	1	-	1	1	-	-	1	-	1
Ležaj vent.	1	2	-	-	-	-	-	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cevovod tople vode od bojl.	-	-	1	-	1	1	-	1	1
Bojler u SP-u	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Transportna oprema</u>									
El.magn.hvatač strela kрана	1	-	5	8	8	3	8	22	10
Reduktor motora HEK	2	-	-	-	-	-	1	-	1
Meh.hvatač strela kрана	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno	10	11	15	12	12	8	14	26	20

Pregled stanja mašinske opreme i radova na održavanju.

2.1. SISTEM TEŠKE VODE

U sistemu teške vode zamenjena je cev od pumpe teške vode "A" do pokazivača istrošenosti ležišta.

U sistem teške vode je dodato 30 litara teške vode.

Sistem destilacije teške vode je bio u radu od 02.II.1976. godine do 10.II.1976. godine, za koje vreme je destilisano 7.000 litara D2O. U toku godine nije vršena dekontaminacija isparivača.

U sistemu destilacije remontovana su dva mano-vakuummetra. Pumpe teške vode su od poslednjeg remonta, obavljenog u junu i julu 1970. godine, imale do kraja novembra 1976. godine ukupno radnih sati:

Pumpa	Na 3000 ⁰ /min.	Na 1500 ⁰ /min	Ukupno
A	106	15560	15666
B	11	9732	9743
V	95	24963	25058

Od 6 do 10 decembra 1976. godine izvršen je generalni remont teškovodne pumpe "A". Remont pumpi "B" i "V" obaviće se kada se ukaže potreba za tim.

2.2. GASNI ~~SISTEM~~ REAKTORA RA

U gasnom sistemu izvršeno je dodavanje ulja u vakuumpumpe, očišćeni hvatači ulja iza vakuumpumpi i poboljšana je hermetičnost istih.

Izvršen je remont ventila na ručnom analizatoru praskavog gasa.

2.3. SISTEM TEHNIČKE VODE

Čišćenje izmenjivača toplote primarnog kola obavlja se pri kraju svakog meseca, osim januara i jula. Očišćen je taložnik tehničke vode koja se dobavlja iz Dunava.

Razmenjivač toplote u kolu hladjenja grafita očišćen je u februaru, a filter na liniji hladjenja pumpi D20 u avgustu. Pumpa 049 konzervirana je u martu kada je zamenjeno prednje ležište na istoj. Pumpa je dekonzervirana i pripremljena za rad u decembru.

Izvršena je revizija i podmazivanje pumpi na Dunavu: zamenjen je nosač ventilatora el. motora pumpe br. 2 na Dunavu.

Zamenjen je dotrajali deo cevovoda za hladjenje gasnih duvaljki i pumpiteške vode dužine 35 m.

Izvršen je remont ventila i opreme na taložniku tehničke vode. Taložnik je očišćen od mulja.

U sistemu hladjenja grafita nije bilo remontnih radova već je samo vršen redovni pregled i podmazivanje ležišta pumpi u sekundarnom kolu sistema.

2.4. SISTEM VENTILACIJE I GREJANJA

Remontovani su ventilatori V-4 i V-10. Očišćeni su filtri ventilatora, i to u kolu SPV i SPP sistema u januaru, a u kolu sistema dobavnih ventilatora P-1 do P-4 u septembru. Ventilatori se svakodnevno kontrolišu i redovno pregledaju. U ležištima se redovno zamenjuje mazivo prema radnim satima.

Zamenjeno je više dotrajalih ventila u sistemu grejanja. Obavljen je redovni pregled sigurnosnih ventila na 2000 litarskim bojlerima.

Odeća i oprema za ličnu zaštitu

Vrši se redovno pranje, popravljjanje i obnavljanje zaštitne odeće i obuće. Izvršen je pregled i revizija svih aparata za disanje. Dotrajale maske aparata tipa "Spiratom" su zamenjene novim.

Izvršen je remont oba vazдушna kompresora za punjenje boca tipa "Spiratom".

2.5. CENTRALNO TELO REAKTORA

Zbog opasnosti od loma a za bezbedan rad reaktora, izvršen je pregled cevi tehnoloških kanala, koji su uneti u reaktor pre 1973. godine.

Obavljeni su vrlo obimni radovi na otkrivanju dehermetizacije grafitnog suda. Mesto dehermetizacije nije utvrđeno, te isti posao mora da se nastavi.

U decembru 1975. godine izvršena je dekontaminacija VK-4, pri kojoj isti nagrižen hemikalijama procurio. Ostatak sredstva za čišćenje iz VK-4 izmešao se sa teškom vodom u reaktoru i intenzivirao stvaranje praskavog gasa. Iz tog razloga u januarskoj kampanji reaktor je radio na smanjenoj snazi od 5 MW. U februaru 1976. godine izvršena je destilacija teške vode. čime je uzročnik stvaranja veće količine praskavog gasa uklonjen iz reaktora.

Izvršena je zamena 30 cevi za tehnološke kanale koji se nalaze duže od 3 godine u reaktoru.

Mnogi radovi oko kontrole i obezbedjenja hermetičnosti reaktora nisu mogli biti uradjeni, pošto je stari detektor curenja dotrajavao, a novi i pored svih učinjenih napora nećemo dobiti pre januara 1977. godine. Stari detektor curenja je uz veliko zauzimanje i trud nekolicine radnika reaktora osposobljen, ali nema dovoljno osetljivosti. Otkriva samo grublje

curenja a što nije dovoljno za obezbedjenje potpune hermetičnosti reaktorskih sistema.

2.6. TRANSPORTNA OPREMA

Obavljane su redovne revizije i pregledi velikog krana 20/5 tona u hali reaktora i krana u prostoriji 099.

Obavljen je pregled revizija i poboljšan rad krana za transport ozračenih uzoraka pod vodenom zaštitom reaktora.

2.7. VREMENSKO KORIŠĆENJE UREDJAJA I OPREME

U sledećoj tabeli dat je broj časova rada pojedinih uredjaja u 1976. godini i ukupno od početka rada do kraja 1976. godine.

Red. br.	Naziv uredjaja	Sati	
		1976	Ukupno
1.	Pumpa za tešku vodu "A"	1006	42 329
2.	" " "B"	2250	61 089
3.	" " "V"	3247	56 148
4.	Gasna duvaljka "A"	1173	38 190
5.	" " "B"	2153	30 614
6.	Pumpa za odvod tehn.vode u taložnik	1266	15 230
7.	DOZ pumpa (PMK-2) broj 1	1947	35 875
8.	" " " broj 2	1272	24 229
9.	DOZ pumpa broj 3	-	379
10.	Pumpa za izbacivanje uslovno čiste vode broj 18	240	1 692
11.	" " broj 19	70	486
12.	Pumpa za hladjenje grafita br.5	1480	57 849
13.	" " 205	1836	19 293
14.	Pumpa za drenažu D20 br.31	100	900
15.	Pumpa za prebacivanje destilata D20 br.10	75	435
16.	" " " br.11	15	195
17.	Vakuum pumpa u sistemu destilacije (VN-1) br.12	62	697

18.	Ventilator	V-1-1	2816	61 945
19.	"	V-1-2	1496	51 971
20.	"	V-2-1	3552	106 128
21.	"	V-2-2	1863	99 751
22.	"	V-3-1	28	353
23.	"	V-3-2	-	217
24.	"	V-4-1	3245	35 192
25.	"	V-4-2	1788	23 719
26.	"	V-5	-	59 021
27.	"	V-6	3521	64 585
28.	"	V-7	3220	59 494
29.	"	V-8	3217	59 936
30.	"	V-9	4297	81 589
31.	"	V-10	3947	45 781
32.	"	SPV	4159	50 140
33.	"	P-1	-	453
34.	"	P-2	4131	84 683
35.	"	P-3	4282	82 118
36.	"	P-4	4266	72 675
37.	"	P-5	4272	37 730
38.	"	PV-6K	317	18 732
39.	"	P-7	90	11 999
40.	"	SPP	4116	83 275

3. PRIRUČNA RADIONICA REAKTORA RA

Zadaci i utrošeno radno vreme sa cenom specificirani su i dati tabelarno. U ovom izveštaju obuhvaćeni su radovi od 1.I. 1976. godine do 30.XI.1976. godine.

3.1. Održavanje opreme

A. Mašinska oprema

Red. br.	Šifra	Z a d a t a k	Broj čas.	Cena
1.	MO-1	Održavanje sistema teške vode i destilacije	265	21 200
2.	MO-2	Održavanje sistema tehničke vode	1572	125 760

3.	MO-3	Održavanje uređaja u gasnom sistemu	287	22 960
4.	MO-4	Održavanje elemenata u centralnom telu	1668	133 440
5.	MO-5	Održavanje transportnih uređaja	168	13 440
6.	MO-6	Održavanje sistema ventila- cije i grejanja	1162	92 960
SVEGA:			5122	409 760

B. Tehnološka oprema

1.	OI	Održavanje instrumentacije	1385	110 800
----	----	----------------------------	------	---------

C. Elektrooprema

1.	EO	Održavanje elektroopreme	994	79 520
----	----	--------------------------	-----	--------

D. Održavanje zgrade

1.	MG	Održavanje zgrade	455	36 400
----	----	-------------------	-----	--------

3.2. IZRADA NOVIH ELEMENATA OPREME

Red. br.	Šifra	Z a d a t a k	Broj čas.	Cena
1.	M4-2	Izrada novih elemenata za tehnološke kanale	268	21 440
2.	M4-3	Izrada opreme za dekon- taminaciju	34	2 720
3.	M5-2	Izrada elemenata za ure- đaj za prepakivanje	34	2 720
4.	M5-4	Izrada rezervnih delova za elektromagn.hvatač	994	79 520
5.	M-7	Izrada kenara Ø 50 mm	16	1 280
6.	MO-A	Izrada ručnog alata	486	38 880
7.	PVM	Izrada novih elemenata za održavanje zgrade	1389	111 120
SVEGA:			3221	257 680

3.3. USLUGE RADNIM JEDINICAMA

1.	00UR 030	116	9 280
2.	00UR 070	1315	128.614
3.	00UR 100	48	3 840
4.	00UR 110	30	2.400
5.	00UR 140	3	240
6.	00UR 160	31	2 480
7.	00UR 190	9	720
8.	00UR 210	32	2 560
9.	00UR 220	84	6 720
SVEGA:		1668	156 854
Ukupno		12 845	1 051 014

Usluge Laboratoriji 070 odnose se uglavnom na usluge vrućih komora.

Ako se uporede utrošeni radni časovi radnika radionice na održavanju opreme u poslednjih 5 godina dobija se sledeći pregled:

Red. br.	Z a d a t a k	Radni časovi				
		1972	1973	1974	1975	1976
1.	Održavanje mašin.opreme	4461	3384	4116	5437	5122
2.	" tehnološke opreme	830	2161	1582	1766	1385
3.	" elektro opreme	92	617	165	613	994
4.	Izrada novih elemenata opreme	3474	2403	2007	3404	3221
5.	Održavanje zgrade reaktora RA	232	424	287	155	455
6.	Usluge drugim radnim jedinicama	4836	3258	4091	4251	1668
SVEGA:		13925	12247	12248	15626	12845

4. PRIRUČNI MAGACIN REAKTORA RA

Sav materijal izuziman je iz priručnog magacina putem internih trebovanja sa naznačenom šifrom zadatka i potpisom nosioca zadatka.

Za podizanje odredjenih materijala i delova iz priručnog magacina reaktora RA kao i iz centralnog magacina Instituta odobrenje je ^{davao} rukovodilac OOUR-a.

Za uzimanje rezervnih delova ili uredjaja za hitne opravke za vreme rada reaktora a van redovnog radnog vremena (praznikom ili u popodnevnim i noćnim časovima) obrazovane su komisije od članova smene sa šefom smene na čelu.

Vrednost utrošenog materijala i delova prema zadacima data je tabelarno prema tačkama 4.1., 4.2., 4.3. i 4.4.

4.1. ODRŽAVANJE OPREME

A. Mašinska oprema

Red. br.	Šifra	Z a d a t a k	C e n a
1.	MO-1	Održavanje sistema teške vode	5 618
2.	MO-2	" " tehničke vode	17 965
3.	MO-3	" " gasa	2 912
4.	MO-4	" centralnog tela	1 860
5.	MO-5	" transportne opreme	2 180
6.	MO-6	" sistema vent.i grejanja	5 528
SVEGA:			36 071

B. Elektronska oprema

1.	OI	Održavanje instrumentacije	162 712
----	----	----------------------------	---------

C. Elektrooprema

1.	EO	Održavanje elektroopreme	53 305
----	----	--------------------------	--------

D.	<u>Održavanje zgrade</u>		1 487
----	--------------------------	--	-------

E. <u>Potrošni materijal</u>	13 358
F. <u>Kancelarski materijal</u>	16 674
G. <u>Radiološka zaštita</u>	55 502
H. <u>Hemikalije</u>	14 522

4.2. IZRADA NOVIH ELEMENATA OPREME

1. M4-2 Izrada tehnoloških kanala	17 640
2. M5-4 Izrada delova za elektro magnetni hvatač	1 600
3. MO-A Ručni i mašinski alat	750
4. MO-M Remont mašina alatljika	52 000

SVEGA: 70 550

4.3. TROŠKOVI SMENSKOG VOZILA

1. Rezervni delovi	9 450
2. Ulje i benzin	40 268

SVEGA: 49 718

4.4. TROŠKOVI GORIVA, HELIJUMA I TEŠKE VODE

1. Uransko gorivo (807,60 din.po elementu)	117 910
2. Uransko gorivo (3380 din.po elementu)	67 600
3. Helijum (1350 din/l boca)	6 750
4. Teška voda	2 880

SVEGA: 221 060

4.5. REKAPITULACIJA UTROŠKA MATERIJALA ZA PERIOD od 1.I.1976. godine do 30.XI.1976. godine

I. Održavanje opreme (A+B+C+D+E+F+G+H) . .	353 631
II. Izrada novih elemenata opreme	70 550
III. Troškovi smenskog vozila	49 718
IV. Troškovi goriva, helijuma i teške vode	221 060

Ukupno utrošeno materijala: 694 959

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA - OOUR 180



CS06RA375

D. Stamenković

Rad službe za održavanje elektro
opreme reaktora RA u 1976. godini

- Izveštaj -

Decembar 1976. - Vinča

S A D R Ź A J

1. ORGANIZACIJA RADA U SLUŽBI ODRŽAVANJA
ELEKTRO OPREME REAKTORA RA 1
2. STANJE, REVIZIJA I REMONT ELEKTRO OPREME
REAKTORA RA 2
3. SMETNJE U NAPAJANJU ELEKTROENERGIJOM 3

1. ORGANIZACIJA RADA U SLUŽBI ODRŽAVANJA ELEKTROOPREME REAKTORA RA

Elektrooprema

U grupi za održavanje elektroopreme radio je jedan diplomirani elektroinženjer i jedan visokokvalifikovan i polukvalifikovan električar.

Na održavanju elektroopreme radilo se po unapred utvrdjenom planu. Poslovi su podeljeni na svakodnevne, nedeljne, mesečne i povremene te su tako i obavljeni.

Svakodnevni poslovi

- Pregledani su dnevnicu dežurnih električara smene
- Evidentirane su smetnje u napajanju električnom energijom
- Evidentirani su kvarovi na elektroopremi
- Otklanjani su zapaženi kvarovi (ukoliko je rad reaktora to dozvoljavao)
- Merene su gustine elektrolita svih ćelija stacionarnih akumulatorskih baterija.
- Zamenjivane su pregorele sijalice i fluorescentne cevi u zgradi reaktora RA
- Izrađivane su rukavice od plastične folije koje se upotrebljavaju kod remonta kontaminirane opreme

Nedeljni poslovi

- Nadgledani su ulazni transformatori snage, sinhroni generatori i njihovi pogonski motori, generatori za punjenje akumulatorskih baterija i njihovi pogonski motori.
- Kontrolisane su razvodne table sa opremom.
- Analizirani su rezultati merenja gustine elektrolita ćelija akumulatorskih baterija.
- Nadgledani amplitudni nivomera, automatskih regulatora snage reaktora.
- Obilažene prostorije glavne i pomoćnih razvodnih tabli u cilju kontrole urednosti i čistoće.
- Proveravanje i dopunjavanje rezerve potrošnog materijala u prostorijama razvodnih tabli.

Mesečni poslovi

- Prikupljane i pregledane eksploatacione karte
- Obračunavani su i evidentirani utrošci električne energije i vreme rada važnijih potrošača (agregata)

Povremeni poslovi

- Kontrolisana je ispravnost upozoravajućeg i sigurnosne signalizacije
- Proveravan je rad sigurnosnih šipki
- Proveravan rad kranova
- Vršeno prekretanje motora koji povremeno rade
- Kontrolisana ispravnost kontakata teškovodnih pumpi
- Kontrolisana ispravnost kontakata sigurnosnih šipki
- Kontrolisan je strela kran i kolo upravljanja reaktorom
- Vršena revizija kolektora kolektorskih mašina.

2. STANJE, REVIZIJA I REMONT ELEKTROOPREME REAKTORA RA

Prema planu kao i konstatacijama pri reviziji izvršeni su u 1976. godini remont i sledećih potrošača i elektroopreme:

a. Razvodne table

GRT - 380/220 V I, GRT - 380/220 II, GRT - 380/220 V III, TIP, GRT - 110 V, GRT - 48 V, RT - 48 A, RT - 48 B, RT - 53, RT - 54 A, RT - 54 B, RT - B, RT. VC - I, RT VC-II, RT - pum-
pna stanica Dunav, NT - 34, NT - 211, NT - 212, Tabla "O",
Tabla "T", Tabla "CDT", Pult "O", K - 48 - 1 i K - 48 - 2

b. Potrošača N^o

7, 12, 20, 20-1, 22, 23, 34, 36, 37, 18, 19, 49, 84, 85, 86,
87, 91, 94, 99, 101, 104, 107, 110, 113, 116, 119, 122, 125,
141, 141-1, 142, 142-1, 143, 143-1, 166, 167, 177, 177 R,
132, 134, 136, 132 i celokupne pripadajuće im el. opreme.

c. Izvršen je delimičan remont

Kontrola kolektora, dodata je mast u ležajevima, provera i zamena četkica kod potrošača N^o:

43 M, 43 G, 44 M, 44 G, 47 M, 47 G, 48 M, 48 G, 70, 71, 99-1, 102, 103, 105, 106, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 124, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 164, 165, 168, 169, 175, 175 R, 176, 176 R i celokupne pripadajuće im el. opreme.

d) Izvršen detaljan pregled stanja izolacije, spojeva uzemljenja i čišćenje od prašine suvih transformatora, i impulsnih uredjaja:

1 TR, 2TR, 3 TR, 4 TR, 5 TR, 6 TR, 7 TR, 8 TR, 4 komada na Tabli "O" 1 TR - MU, 1 MU, 1 MU-1, 2 MU, 40 T, 42 T i "IR".

g. Izvršena kontrola i pregled grejača:

8, 13, 14, 35, 38, 40, 42, 74, 95, 96 i 2 bojlera od 50 litara severnog dela kota - 4,5 m.

e. Izvršen je detaljan pregled 7 komada suvih ispravljača za punjenje akumulatorskih baterija:

2, 6, 12, 24, 48 I, 48 II i dopunjavanja baterije 110v. Pregled se sastojao: stanje dioda, svih spojenih mesta od napajanja do ispravljenog napona i spojevima na samim baterijama, kontrola uzemljenja i čišćenja od prašine.

Pored toga izvršeni su sledeći poslovi

- Pražnjenjem odgovarajućom strujom uz praćenje gustine elektrolita i napona izvršena je provera kapaciteta akumulatorskih baterija: 6, 12, 24, 48 I, 48 II i 110 V. Proverom je utvrđeno da su baterije u vrlo dobrom stanju.
- Izvršeno je ispitivanje i kompletna revizija signalizacija: sigurnosne, upozoravajuće, nivoa i curenja teške vode. Kod revizije zamenjeno je 600 komada dioda, namotano 20 relea, očišćeni kontakti i ispitana signalizacija.

- Na potrošaču 84 strela kрана ugradjena je elektro - magnetna kočnica i prilagodjena električna šema u cilju preciznijeg pristajanja kрана kod manipulacija.
- Na telefonskom kabl u izvršena je rekonstrukcija tri račve, na razdelniku izvedene nove olovne glave, na "30" komada važnijih telefona zamenjeni kablovi, mikrofoni i slušalice, na pumpnoj stanici Dunav i u Medicinskoj zaštiti instalirani dispečerski telefoni u sobi veze prostorija 305 izvedene su pouzdanije veze napajanja pojačala razglasa.
- Radi oslobadjanja prostorije 104 za druge potrebe izvršeno prebacivanje veza i samih ispravljača za punjenje baterija 6, 12 i 24 V u prostoriji 207. Istovremeno je prebačeno komanda ventilatora P-5 i V-10 za ventiliranje prostorije baterija na tavanu.
- Izvršeno je čišćenje od korozije i farbanje transformatora snage N^o 1, 2 i 3 od 630 KVA. Prekontrolisani su svi spojevi na transformatorima, kablovskim glavama i sabirnicama niskog napona. Bandažirani su niskonaponski kablovi i ofarbane sabirnice i ostala oprema oko transformatora odgovarajućim bojama.
- Poskidani su svi provizorno položeni vodovi u hali reaktora, kao i vazdušni signalni kabl od taložnika do pumpne stanice Dunav.
- U vezi automatizacije pumpne stanice Dunav (kako bi ista radila automatski bez posade) izradjen je idejni projekat sa specifikacijom elektro materijala.
- Zbog dotrajalosti posuda akumulatorske baterije 110 V koje se moraju menjati novima od ukupno 65 kom. u sopstvenoj reziji izradjeno je 13 komada.

U ovoj godini elektroinžinjer se pored odredjenih konkretnih zadataka uglavnom obučavao za ovu službu, dok je kao i ranijih godina visokokvalifikovani električar u velikoj meri bio angažovan pri zameni goriva i drugim poslovima.

I pored toga što se u ovoj godini (zahvaljujući većem angažovanju električara iz pogona u remontnim radovima) znatno više uradilo u svrhu boljeg obavljanja posla i samog pogona

Potrebno je primiti još jednog visokokvalifikovanog električara.

Pregled kvarova na opremi koje je registrovalo pogonsko osoblje u toku rada reaktora (za proteklih 9 godina) dato je u donjoj tabeli:

Red. br.	Neispravnost na opremi	G o d i n a								
		68	69	70	71	72	73	74	75	76
1.	Kranovi i hvatači	-	2	1	-	-	2	2	12	5
2.	Ventilatori i pumpe	1	4	-	-	1	2	1	4	3
3.	Izvori električne energije i transformatori	1	-	-	1	-	2	1	2	-
4.	Razvodne table i komandna mesta	-	3	1	-	2	2	2	3	3
5.	Akum. bater. i ispravljači	-	-	-	-	-	1	1	-	-
6.	Signalizacija i telefoni	1	5	2	3	3	3	1	5	7
7.	Horiz. eksper. kanali	1	-	-	-	1	1	1	1	1
U k u p n o:		4	14	4	4	7	13	9	27	19

Opis kvarova u navedenoj tabeli za 1976. godinu.

Neispravnost kranova

- Na velikom mostnom kranu jedanput je otkazala komanda za spuštanje velike kuke od 20 T zbog otkazivanja kontaktora na RT-53.
- Kod strele krana potrošača N^o 84 ispala je utičnica za napajanje elektromagnetne kočnice.
- U tri slučaja vršena je zamena elektromagnetnog hvatača za transport kenera.

Neispravnost ventilatora i pumpi

- a. Kvar u električnoj šemi teškovodne pumpe "Beograd" koja je bila izabrana da nastavi rad pri sigurnosnom zaustavljanju reaktora, ona nije nastavila rad.
- b. Na sklopki zvezda trougao za napajanje pumpe za tehničku vodu N^o 2 na Dunav stenici došlo je do eksplozije sklopke i oštećenja kontakata.
- c. Kvar na elektromotoru ventilatora potrošača N^o 107 je nastao zbog dotrajalosti kugličnih ležajeva.

Neispravnost razvodnih tabli i komandnih kola

- a. Kod isključenja teškovodne pumpe "Valjevo" iz rada mehanički je zaglavio kontaktor "LZ" pa je zbog povećane struje motora delovala termička zaštita.
- b. U šemi elektro mašinskog pojačala nivomera nepouzdanost je bilo naponsko rele "RKN" pa je isto zamenjeno domaćim. U drugom slučaju je kod relea "RKN" pregoreo namotaj (šmukna) relea.

Neispravnost signalizacije i telefona

- a. Neispravnost signalizacije obuhvata kvar na signalizaciji nivoa tehničke i teške vode koja se manifestovala 6 puta.
- b. Grubom greškom dežurnog električara u smeni mehanički je blokirano rele signalizacije donjeg nivoa drenažnog rezervoara D₂O-043, pa isti nije signalisao i ako je curenje postojalo.

Neispravnost horizontalnih eksperimentalnih kanala

Obuhvata prekid komandnog kabla u tastaturi komande za "HEK-5".

Osim kvarova specificiranim u tabeli koji su detaljnije objašnjeni bilo je i drugih manjih kvarova koji su navedeni u knjigu kvarova od strane pogonskog osoblja, ali ni jedan kvar sa električne strane nije izazvao sigurnosno zaustavljanje reaktora osim kod nestanka napona iz mreže SR Srbije.

Napajanje električnom energijom je dato u donjim tabelama:

a. Tabelarni pregled utroška električne energije za poslednjih 9 godina:

Godina	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Rad reaktora (MWh)	31036	31131	25068	31606	31151	30504	30711	30000	20316
Utrošak elek. energ. (MWh)	1256	1161	1042	1184	11104	1071,5	1030	1067	1556
Odnos MWh/Mwh	24,7	26,5	25,0	26,7	28,2	28,5	29,8	28,1	13,06

Znatnija razlika odnosa MWh rada reaktora i utrošenih KWh el. energije u ovoj godini (u odnosu na ranije) javlja se zbog dodavanja utrošenih KWh el. energije na pumpnoj stanici Dumav što raniji izveštaji nisu obuhvatali.

b. Potrošnja el. energije po mesecima u toku 1976. godine

M e s e c i	Potrošnja u KWh	
	1975	1976
Januar	89580	69820
Februar	66560	79440
Mart	96480	126100
April	94720	67420
Maj	88820	91480
Juni	107900	108940
Juli	74840	58600
Avgust	17400	18820
Septembar	109060	90640
Oktobar	113460	42140
Novembar	112660	88120
Decembar	96000	65000
Ukupno "RA"	1.067480	906520



CS06RA376

PRILOG IV

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA - OOUR 180

Ing. M. Milošević:

Rad službe za održavanje elektronske opreme
reaktora RA u 1976. godini

- Izveštaj -

Decembar 1976. - Vinča

S A D R Ž A J

1. ORGANIZACIJA RADA I OSNOVNI ZADACI SLUŽBE ODRŽAVANJA ELEKTRONSKE OPREME REAKTORA RA	1
2. KONTROLNO MERNÁ INSTRUMENTACIJA	3
3. DOZIMETRIJSKA INSTRUMENTACIJA	4
4. INSTRUMENTACIJA ZA UPRAVLJANJE I ZAŠTITU	5
5. OSTALA MERNÁ OPREMA	6
6. OSTALE AKTIVNOSTI	6
6.1. Poslovi na obnavljanju i modernizaciji opreme . . .	6
6.2. Poslovi na daljem komercijalnom otvaranju reaktora	7
6.3. Poslovi na unapredjenju znanja	7

1. ORGANIZACIJA RADA I OSNOVNI ZADACI SLUŽBE ODRŽAVANJA
ELEKTRONSKE OPREME REAKTORA RA

Prema sistematizaciji, koja je u toku godine nešto izmenjena, grupu za održavanje elektronske opreme sačinjavali su u toku 1976. godine:

1 dipl. inž. (rukovodilac službe)
3 tehničara

Inženjer, rukovodilac službe. pored održavanja, nabavki i planiranja oko elektronske opreme dobio je zaduženje, odlukom zbora radnih ljudi, da rukovodi i grupom da dozimetrijsku kontrolu, u okviru pogona reaktora RA.

U toku ove godine grupa za dozimetriju je formirana od ljudi iz postojećeg sastava iz ove OOUR i to:

Šef grupe: M. Milošević
pomoćnik: S. Cupać, inženjer za sigurnost reaktora
dozimetristi: 1. Veličković P.
2. Kosanović B.
3. Mladenović
4. Stanković B.

Grupa dozimetrista je proradila program predviđen "Propisima i upustvima" za Reaktor RA, i ispit treba da se održi u drugoj polovini decembra. Na posao stupaju 1. januara 1977 g.

Rad se obavlja na osnovu: plana remonta opreme, primedbi na rad opreme od strane pogonskog osoblja kao i zahteva za izvršenje odredjenih usluga.

Održavanje se vrši na 270 elektronskih instrumenata (30 različitih tipova).

Starost instrumenata je u proseku 20 godina od kada su izradjeni, a u radu su 17 godina. Na mnogima su izvršene izvesne modifikacije radi lakšeg i boljeg održavanja u radnom stanju.

Instrumenti su bili u radu prema evidenciji o radnim časovima reaktora:

Godina	Sati
1960	261
1961	976
1962	3594
1963	2043
1964	4532
1965	4787
1966	5189
1967	4892
1968	5147
1969	4996
1970	4100
1971	5028
1972	4906
1973	4747
1974	4795
1975	4616
1976	3224
U k u p n o:	67.833

Jasno je da je ovo enormno veliki broj radnih časova za pojedini instrument (koji je i star dvadesetak godina). Zbog ovoga su i preduzeti odredjeni koraci za zamenu instrumentacije izvesnim redosledom, o čemu će biti više reči dalje u izveštaju.

Oprema koja spada u nadležnost ove grupe prema nameni je podeljena na sledeće osnovne grupe:

- .. Kontrolnomerna instrumentacija
- .. Dozimetrijska instrumentacija
- .. Instrumentacija sistema upravljanja i zaštite
- .. Ostalna merna oprema

2. KONTROLNO MERNIA INSTRUMENTACIJA

Evidentirani kvarovi na kontrolno - mernoj instrumentaciji
dati su u sledećoj tabeli:

Red. br.	Naziv	Broj kvarova u godini								
		1968	69	70	71	72	73	74	75	76
1.	Termometri	9	16	2	14	17	7	4	3	10
2.	Davači (protoka)	1	5	-	5	-	1	2	1	-
3.	Gasni analizatori	3	3	3	1	3	2	3	3	1
4.	Protokometri	8	7	1	6	10	3	9	8	-
5.	Sistem veza (raz- glas)	2	3	1	2	2	4	4	3	-
6.	Elektron.mern.instr. (štampanci itd.)	54	47	53	44	48	75	55	47	25
7.	Logometri	4	-	7	1	-	6	2	-	-
8.	Mehan.instrum. (manom.)	-	-	3	-	-	1	-	-	1
9.	Preklop i prekidači	9	13	2	2	8	5	3	6	2
10.	Ventili	1	1	-	1	4	2	-	-	-
11.	Signalizacija	6	3	11	8	3	7	6	-	3
U k u p n o:		97	99	83	84	96	113	88	71	44

Jasno je da po broju kvarova dominira grupa 5 (elektronski merni instrumenti - pisači i štampanci) ako se zna da instrumenti te grupe čine dve trećine svih instrumenata u ovoj grupi. Stiglo je nekoliko komada analognih digitalnih indikatora AD 2006/E i AD 2003/E (od firme Analog Devices), u drugoj polovini ove godine, a sa kojim će se pokušati zamena postojećih instrumenata tipa EMUR-15. Kako ovih EMUR-a ima oko 120 komada to će zamena novim instrumentima dati i prilično veliku uštedu u prostoru (oslobodiće se čitava prostorija, u koju je smeštena tabla T).

Medjutim bitnije je što će se dobiti, to je prelazak na tranzistorsku instrumentaciju koja je podesnija za održavanje, a i u pogledu trajnosti bolja je od "klasične cevne" tehnike.

Pojavio se priličan broj kvarova na termometrima, što je neki put bila posledica lošeg kontakta na utikaču. Ovi utikači će biti zamijenjeni pri prelasku na novo gorivo (u toku 1977. godine).

3. DOZIMETRIJSKA INSTRUMENTACIJA

Dozimetrijska instrumentacija (kaktusi) su osveženi zamenom na većem broju instrumenata, elektrolita, nekih potenciometara i prekidača. Cevi se menjaju prema potrebi. Pregled kvarova na dozimetrijskoj instrumentaciji dat je u sledećoj tabeli.

12. Kaktus	62	57	48	17	30	51	47	40	22
13. TIS	14	8	12	5	-	3	6	12	3
14. Signalizacija	-	-	-	6	3	2	1	5	1
15. SU-1	4	1	-	-	-	2	4	3	1
16. Štampač	-	3	1	5	-	5	7	8	5
17. Ostalo	4	-	3	-	-	-	12	4	2
U k u p n o:	84	69	64	33	33	63	76	72	34

Kako najveći broj kvarova otpada na instrument tipa Kaktus, kojih ima daleko najviše u ovoj grupi, jasno je da je smanjenje kvarova kod njih jednovremeno uočljivo u ukupnom smanjenju kvarova.

Za sad i verovatno u sledećoj godini se neće mnogo preduzimati oko zamene ove instrumentacije novom, jer se prednost daje instrumentaciji sistema za upravljanje i zaštitu, pa kontrolno mernoj instrumentaciji.

Nabavka će se verovatno obaviti (u zavisnosti od finansijskih mogućnosti) kod dozimetrijske instrumentacije, u pogledu kupovine jednog prenosnog neutronskog dozimetra.

4. INSTRUMENTACIJA ZA UPRAVLJANJE I ZAŠTITU

Za ovu najmanju, po broju, a najvažniju po značaju instrumentaciju evidentiran je najmanji broj kvarova. Razlog za ovo je učestvovanje saradnika za održavanje ove opreme u svakoj pripremi na početku rada reaktora, te ti nedostaci, koji se tada otklanjaju ne upisuju se u knjigu.

Pregled kvarova tabelarno izgleda:

18. AR	-	-	-	4	3	6	1	-	2
19. UA	-	-	-	2	5	-	1	-	-
20. Galvanometar	-	-	-	2	2	4	1	-	-
21. Periodmetar	-	-	-	1	10	6	-	2	-
22. Novomer	-	-	-	-	1	-	1	2	3
23. LOG merač snage	-	-	-	-	1	-	1	-	-
24. AZ i CT	-	-	-	-	-	3	-	4	-

U ovoj grupi instrumenata od uradjenih poslova treba spomenuti i zamene tri jonizujuće komore (za AZ-2, AP-2 i periodmetar). Dalje je zamenjena sonda za nivomer. Novostavljena sonda je bila nestabilna u radu pa je morala biti zamenjena. Kod zamene se pokazalo da je sonda bila lučno savijena, što je dovelo do teškoća u radu.

Kontrolna šipka br.1 je dovedena u radno stanje. Pri njenom remontu je utvrđeno da je sajla za njeno pomeranje bila oštećena (nekoliko čeličnih vlakana se pokidalo).

5. OSTALA MERNI OPREMA

a. Pomagano je fizičarima Reaktora RA u sledećim poslovima:

- merenje aktivnosti folije i uzoraka Co radi odredjivanja parametara reaktorskog jezgra.

- izrada komore i kompletiranje mernog sistema za merenje aktivnosti zatvorenih izvora, što će biti završeno početkom 1977. godine.

Ovaj merni sistem će omogućiti proširenje dosadašnjih usluga Reaktora RA i na proizvodnju i isporuku zatvorenih izvora zračenja.

- za potrebe prevodjenja reaktora RA na novo 80% obogaćeno gorivo, sa U^{235} kompletiran je merni kanal sa termoparovima ugradjenim u novo gorivo (80%). Izvršena su odredjena merenja (kontrola temperature novog goriva). Detalji o ovom merenju dati su u izveštaju:

"Merni kanal za 80% obogaćeno uransko gorivo reaktora RA".

6. OSTALE AKTIVNOSTI

U ostale aktivnosti kojim se bavila ova grupa izvesne aktivnosti su bile vezane za: obnavljanje i modernizaciju opreme, ostvarivanje finansiskih prihoda i obuka kadrova. Ove aktivnosti bi se mogle podeliti u tri grupe:

- Poslovi na obnavljanju i modernizaciji opreme
- Poslovi na daljem komercijalnom otvaranju reaktora
- Poslovi na unapredjenju znanja

6.1. Poslovi na obnavljanju i modernizaciji opreme

U zadnje dve godine, zahvaljujući nešto izmenjenim finansiskim konstrukcijama, pristupilo se intenzivnijoj nabavci elektronske opreme. Ta nova oprema je namenjena jednim delom za zame-
nu dotrajale, a drugim delom za kompletiranje novih mernih jedinica (sa čisto istraživačkim ili komercijalnim svojstvom).

Kompletiranje merne jedinice sa ORTEC-ovim instrumentima je potreba boljeg poznavanja stanja reaktorskog jezgra i potreba provere računskih vrednosti vezanih za sistem manipulisanja sa gorivom.

Kompletiranje novog mernog kanala sa termoparovima je vezano u ovom trenutku za proveru temperaturnog opterećenja novog 80% goriva, a kasnije će služiti kao merni instrument za kontrolu temperaturnih uslova rada pojedinih tehnoloških kanala.

6.2. Poslovi na daljem komercijalnom otvaranju reaktora

Merno mesto sa jonizacionom komorom i digitalnim instrumentom za merenje struje komore, namenjeno je radu u vrućim komorama na izradi zatvorenih radioaktivnih izvora. Za početak to će biti izvori Co^{60} i $\text{Eu}^{152,154}$.

Prvi izvori su isporučeni. Izvesna količina izvora je bila za gromobranske instalacije, a ostatak je bio za tehnološka merenja nivoa gvozdene legure.

U toku su pregovori za daljom proizvodnjom i drugih vrsta izvora za razne druge industrijske primene bilo kao otvorenih ili zatvorenih izvora.

6.3. Poslovi na unapredjenju znanja

Kako ova grupa do sada nije učestvovala na opštem obnavljanju znanja celokupnog pogonskog osoblja, to se za početak pristupilo izradi novih dozimetrijskih propisa i propisa za rad i održavanje instrumentacije. Kad taj posao bude završen, preći će se na niz predavanja radi obnove i proširenja znanja u ovim oblastima.

Održano je i niz predavanja i konsultacija sa osobljem koje se priprema za ispit za dozimetrijsku službu na reaktoru RA



CS06RA377

PRILOG V

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Laboratorija za zaštitu od zračenja
Odeljenje nuklearnog reaktora RA

M. Ninković i saradnici

Dozimetrija i tehnička zaštita od
zračenja kod reaktora RA

- Izveštaj za 1976. godinu -

Decembar 1976. - Vinča

S A D R Ź A J

Strana

1. NIVOI GAMA I NEUTRONSKOG ZRAČENJA	
I STEPENI KONTAMINACIJE RADNE SREDINE . . .	1
1.1. <u>Nivoi gama i neutronskeg zračenja</u> . .	1
1.2. <u>Kontaminacija radne sredine</u>	1
2. OZRAČIVANJE RADNOG OSOBLJA	7
3. KONTAMINACIJA I DEKONTAMINACIJA I	
RADIOAKTIVNI OTPACI	8
4. AKCIDENTI	11

1. NIVOI GAMA I NEUTRONSKOG ZRAČENJA I STEPENI KONTAMINACIJE RADNE SREDINE

1.1. Nivoi gama i neutronskega zračenja

Na reaktoru se vrši stalna kontrola nivoa gama zračenja po tehnološkim i radnim prostorijama, pomoću ugrađenog stacionarnog sistema. Sem toga, svakodnevno se vrše merenja prema ukazanim potrebama, u reaktorskoj hali i ostalim tehnološkim i radnim prostorijama. Posebno se izvode merenja u karakterističnim tačkama, pri radu reaktora na nominalnoj snazi i za vreme stajanja u pauzi između dve kampanje. Rezultati ovih merenja prikazani su u tabeli I.

Merenje nivoa neutronskega zračenja vrši se diskontinualno pomoću mobilnog sfernog neutronskega dozimetra. Merenja se uglavnom obavljaju u hali oko horizontalnih eksperimentalnih kanala. Izmereni nivoi u proseku su tri puta manji od odgovarajućih nivoa gama zračenja.

1.2. Kontaminacija radne sredine

Kontrola stepena kontaminacije radnih površina i atmosfere vrši se uglavnom diskontinualno. Neprekidno se samo prati opšti nivo aerosolne i gasne aktivnosti u vazduhu, koji se iz tehnoloških i radnih prostorija izbacuje u spoljnu sredinu preko dimnjaka.

Stepen aerosolne kontaminacije kontroliše se uzimanjem uzoraka na specijalnim filterima. Filtri su papirni odnosno, papirni impregnirani sa uljem za sakupljanje ^{131}J .

Analiza sadržaja totalne beta i alfa aktivnosti, na filterima, vrši se pomoću prenosnog kompleta RV-4. U izvesnim slučajevima, kada je izmerena totalna aktivnost veća od osnovne za desetak puta, vrše se spektrometrijske analize. Osnovni aerosolni kontaminanti su: ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Zn}$, ^{131}J itd.

TABELA I

Statistički pregled meremja intenziteta ekspozicionih doza zračenja u prostorijama reaktora RA u toku 1976. godine

Prostorija	0,25 mR/h	0,25-2,5 mR/h	2,5-25 mR/h	25-250 mR/h	250 mR/l	Ukupna merenja
1	2	3	4	5	6	7
100 J	390	8	13	8	17	436
100	-	4	35	9	390	438
101 I	322	26	5	-	-	353
101 S	19	32	17	30	22	120
101 Z	101	272	10	15	72	470
99	12	19	56	127	307	521
141 JZ	-	-	5	11	4	20
141 SZ	6	109	2	4	-	121
6	235	109	3	25	23	395
7	372	3	4	19	8	406
D20	-	-	-	-	370	370
4	359	11	-	-	-	370
5	351	20	-	-	-	371
He	-	-	111	239	-	350
36	5	5	106	255	-	371
37	93	70	207	5	-	375
38	54	27	33	-	-	114
33	84	287	-	-	-	371
34	69	273	1	-	-	343

1	2	3	4	5	6	7
35	8	2	339	37	2	388
30	-	-	4	371	6	381
31	15	28	315	5	-	363
32	2	1	44	260	-	307
27	309	306	3	1	-	349
28	4	-	162	200	-	366
29	-	-	-	-	373	373
23	-	-	53	340	5	398
24	-	-	113	265	4	382
25	51	49	181	7	-	288
21	63	96	217	1	-	377
22	-	-	1	374	9	384
26	1	-	21	341	6	369
20	102	256	11	4	1	374
63	-	208	151	-	-	359
59	-	125	148	3	-	276
DIMNJAK	1	340	16	-	-	357
013	-	-	-	-	-	-
009	23	15	58	108	27	231
065	-	-	-	-	-	-

Radioizotopi ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe i ^{65}Zn , dospevaju u spoljnu sredinu kao korozijski produkti sa teškovodnom parom. ^{131}I i $^{110\text{m}}\text{Ag}$ potiču iz uzoraka koji se ozračuju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima.

Posle prvog narušavanja hermetičnosti gorivnih elemenata u aktivnoj zoni reaktora, septembra meseca 1970. godine, medju aerosolnim kontaminantima zapaža se i prisustvo ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{239}Np , a u tragovima i ostalih fisijih produkata i transuranskih elemenata.

Ritam uzimanja uzoraka je ustaljen za normalne radne uslove. Pri svim specifičnim operacijama (zamena goriva, postavljanje novih eksperimenata), uzimaju se vanredni uzorci. Maksimalno registrovane koncentracije aerosola u toku ove godine, date su u tabeli II.

Napomenimo da su koncentracije aerosola od 1 MDK veće za oko 10^3 puta od normalnih, koje odgovaraju prirodnom fonu.

Osnovni gasni kontaminant radne atmosfere je tricijum. Tricijum dospeva u spoljnu sredinu pri dehermetizaciji teškovodnog i gasnog sistema reaktora i reaktorskog suda kao i pri svim manipulacijama sa teškom vodom iz teškovodnog sistema. Sem tricijuma i ^{131}I se registruje takodje, posle svakog narušavanja hermetičnosti uzoraka telurne kiseline koji se ozračuju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima reaktora.

Kontrola kontaminacije ljudstva, radne odeće, površina alata i raznih drugih predmeta, vršena je direktnim merenjima, odnosno metodama briseva. Merenja se vrše na brojačkim uređajima, a u izvesnim slučajevima na gama spektrometru.

Osnovni kontaminanti su radioaktivni izotopi: ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{56}Mn , ^{110}Ag i neki produkti ozračivanja aluminijuma. Takodje, zapaža se i prisustvo ^{137}Cs i u tragovima ostalih dugoživećih fisijih produkata.

U tabeli III dat je statistički pregled merenja stepena kontaminacije površina, predmeta i odeće u radnim tehnološkim prostorijama reaktora RA.

TABELA II

Maksimalne koncentracije radioaktivnih aerosola izmerene u radnim i nekim tehnološkim prostorijama reaktora.

Broj	Opis operacije	Maksimalno registro- vana koncentracija (%MDK)
020	Normalni radni uslovi	5
027	Intervencija na sistemu za destilaciju D2O	5
101	Standardni poslovi	2
141	Čišćenje prostorija	5
033	Kontrola praskavca	5

* MDK - maksimalno dozvoljena koncentracija

TABELA III

Statistički pregled merenja stepena kontaminacije površina, odeće i obuće u radnim i tehnološkim prostorijama reaktora RA u toku 1976. godine.

Broj prosto- rija	Broj merenja sa stepenom konta- minacije u intervalima (MDK*)			Ukupan broj merenja
	1	1-10	10	
001	23			23
002	2			2
003	2			2
004	2			2
005	2			2
006	3			3
007	17			17
009	73	5	12	90
019JZ	2			2
019SZ	2			2
020	9			9
021	4			4
022	2			2
023	2			2
024	8	5		13
025	2			2
026	2			2
027	7		1	8
028	2			2
029	2			2
030	2			2
031	2			2
032	2			2
033	2			2
034	4			4
035	3			3
036	3			3
037	2			2
038	6			6
049	247			247
054	2			2
055	2			2
059	3			3
062	2			2
063	2			2
065	12	3		15
099	250	47	53	350
100	57	5	6	68
101J	20	2	1	23
101I	13	3		16
101S	41			41
101Z	22	2		24
110J	2			2
110I	3			3

110S	5			5
110Z	10			10
141JZ	3		23	26
141SZ	8	1	2	11
219	5			5
220	2			2
221	2			2
222	2			2
011		2		2
odeća	69	23	7	99

2. OZRAČIVANJE RADNOG OSOBLJA

Ljudstvo koje opslužuje reaktor poseduje lična dozimetrijska sredstva - filmove i penkalo - dozimetre, pomoću kojih se direktno mere i odredjuju doze ozračivanja kojima je izloženo. Filmove poseduje svako lice, a nose se mesec dana, tako da se sa njih očitavaju mesečne doze ozračivanja.

Penkalo-dozimetri sa direktnim očitavanjem daju se osoblju po potrebi, a očitavaju se svakodnevno i na taj način se prati dnevno ozračivanje ljudstva pri raznim poslovima, a **takođe** prati se ozračivanje u toku samih poslova.

Pregled doza spoljašnjeg ozračivanja, kojima je bilo izloženo osoblje u toku 1976. godine, dat je u Tabeli IV.

Podatke o internoj kontaminaciji i ozračivanju radnog osoblja poseduje služba Medicinske zaštite. Prema našoj gruboj proceni, doneto je na osnovu maksimalno registrovanih nivoa kontaminacije radne sredine, interno ozračivanje je zanemarljivo u odnosu na spoljašnje.

U Tabeli IV osoblje je razvrstano po arbitretno izabranim intervalima doze ozračivanja. U ovoj tabeli se daju podaci po mesecima: o broju izlaganih zračenju po pojedinim intervalima doza ozračivanja, ukupan broj ozračenih, kolektivna doza ozračivanja, maksimalna i srednja individualna doza.

Ista analiza samo po godinama od 1972 - 1976. data je u Tabeli V. Kao što se vidi u tabeli V maksimalna doza po čoveku u 1976. godini bila je 1,76 R, tj. iznosila je oko 35% od

maksimalno dozvoljene doze (5 rem/g). Kod 90% osoblja je doza ozračivanja bila manja od petine maksimalno dozvoljene. Kolektivna doza ozračivanja bila je u 1976. godini za oko 36% veća nego u prethodnoj godini, što se javlja kao posledica intenzivnijih remontnih radova.

3. KONTAMINACIJA I DEKONTAMINACIJA I RADIOAKTIVNI OTPACI

U toku normalnog rada reaktora ili remontnih poslova dolazi do kontaminacije ljudstva, radne odeće, alata raznih predmeta, površina itd.

Kontaminacija radnog osoblja bilo je nekoliko. U većini slučajeva radilo se o kontaminaciji ruku i to manjeg stepena tako da je autodekontaminacija jedinstveno obavljena na licu mesta. Samo u dva slučaja stepen kontaminacije je bio takav da je bila potrebna intervencija službe za humanu dekontaminaciju.

U toku godine ekipa za dekontaminaciju dekontaminirala je oko 2460 m² površina i 750 raznih predmeta. Sakupljeno je 6,5 m³ čvrstih radioaktivnih otpadaka. Uporedni pregled dekontaminiranih površina i predmeta i sakupljenog radioaktivnog otpada, za proteklih 5 godina dat je u sledećoj tabeli.

Godina	Dekontaminirano		Sakupljenog otpada (m ³)
	površina (m ²)	predmeta	
1972	1100	650	4,6
1973	700	460	3,8
1974	805	178	5,6
1975	1120	368	5,0
1976	2460	750	6,5

Tečni radioaktivni efluenti prebacuju se sistemom specijalne kanalizacije direktno u VR-bazene.

TABELA IV

Pregled doza spoljašnjeg ozračivanja kojima je bilo izloženo osoblje koje radi na reaktoru RA u toku 1976. godine

Mesec	Broj osoblja po karakterističnim intervalima doza ozračivanja				Ukupan broj ljudi	Kolektivna doza (ljudi·R)	Maks.ind. doza (mR)	Srednja individ. doza (mR)
	0-0,1	0,1-0,4	0,4-1	1				
Januar	61	1	0	0	62	0.78	140	13
Februar	52	10	0	0	62	2.29	170	37
Mart	57	5	0	0	62	2.34	380	38
April	49	13	0	0	62	3.22	230	52
Maj	42	20	0	0	62	4.83	300	78
Jun	47	15	0	0	62	3.76	340	61
Jul	56	6	0	0	62	1.79	230	29
avgust	-	-	-	-	-	-	-	-
Septembar	31	29	12	0	62	7.87	490	127
Oktobar	49	13	0	0	62	3.60	220	58
Novembar	61	1	0	0	62	1.17	120	19
Decembar								

TABELA V

Pregled doza spoljašnjeg ozračivanja kojima je bilo izloženo osoblje koje radi na reaktoru RA u periodu od 1972 - 1976. godine

Godina	Broj osoba po karakterističnim intervalima doza ozračivanja				Ukupan broj ljudi	Kolektivna doza (ljudi.R)	Maks.indiv. doza (R)	Srednja individ. (mR)
	0-0,4	04-1	1-2	2				
1971	25	40	8	1	74	48,0	2,57	650
1972	23	32	9	1	65	42,1	2,15	650
1973	33	22	9	2	66	36,5	5,60	550
1974	27	28	4	2	61	32,5	2,21	530
1975	32	22	3	-	57	23,3	1,14	410
1976*	30	26	6	0	62	31,7	1,76	510

(*) Bez podataka za decembar mesec

4. AKCIDENTI

U toku protekle godine na reaktoru RA nije bilo akcidenata većih razmera, koji bi za posledice imali značajnije ozračivanje radnog osoblja i kontaminaciju radne sredine i okoline. Bilo je samo nekoliko manjih akcidenata, odnosno akcidentalnih situacija, pri kojima je dolazilo do neočekivanog ozračivanja i kontaminacije radnog osoblja i površina. U samo jednoj od akcidentalnih kontaminacija površina, došlo je do širenja kontaminanta van radnog prostora. Nepažnjom u radu sa kontaminiranim predmetima, od strane učesnika u poslu, došlo je do širenja kontaminacija površina po većem delu zgrade reaktora, sve do sanitarnog propusnika. Ipak, posledice ovog akcidenta bile su beznačajne, pošto se radilo samo o kontaminaciji poda nekih radnih prostorija i hodnika unutar zgrade reaktora RA.



CS06RA378

PRILOG VI

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA - OOUR 180

Plan rada reaktora RA za 1977. godinu

Decembar 196. - Vinča

REAKTOR RA

PLAN RADA ZA 1977. GODINU

Mesec	Rad reaktora na 6,5 MW	Rad na drugim snagama	Remont opreme i hladjenje	Izmena goriva	Godišnji odmor	Planirani rad (MWh)	Dana rada
Januar	5 - 13	18	14 - 17	3,4 (uslovno)	19-31	1248	8
Februar	7 - 22	23-25	25 - 28	3,4,5	-	2340	15
Mart	1 - 19	20-23	24 - 31	-	-	2808	18
April	4 - 22	23-25	26 - 30	1,2,3	-	2808	18
Maj	4 - 22	23-25	26 - 31	-	-	2808	18
Juni	1 - 19	20-23	24 - 30	-	-	2808	18
Juli	1 - 12	13	14 - 17	-	18 - 31	1716	11
Avgust	27 - 31	-	25 - 26	22,23,24	1 - 21	624	4
Septembar	1 - 7 14-25	8,9 26	10 - 13 27 - 30	-	-	2652	17
Oktobar	3 - 21	22-24	24 - 31	-	-	2808	18
Novembar	4 - 22	23-25	26 - 30	1,2,3	-	2808	18
Decembar	1 - 19	20-23	24 - 31	-	-	2808	18
Ukupno						28236	181

PRILOG VII

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Odeljenje nuklearnog reaktora RA OOUR-180

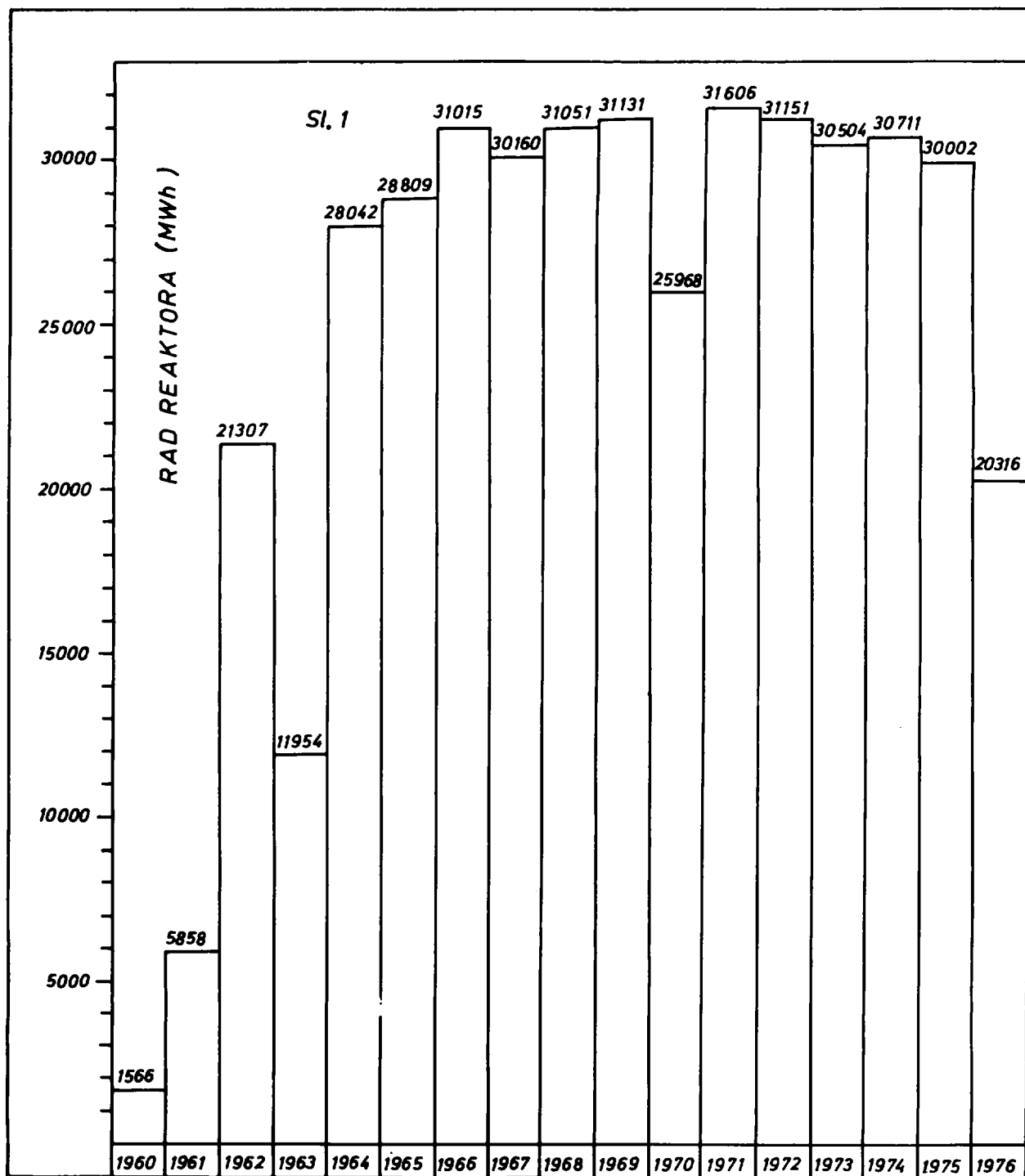


CS06RA379

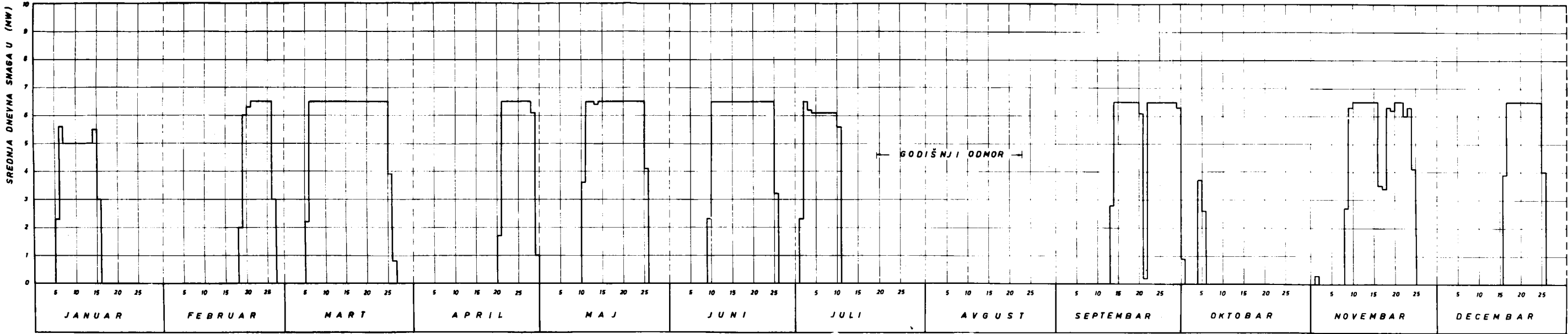
DIJAGRAMI:

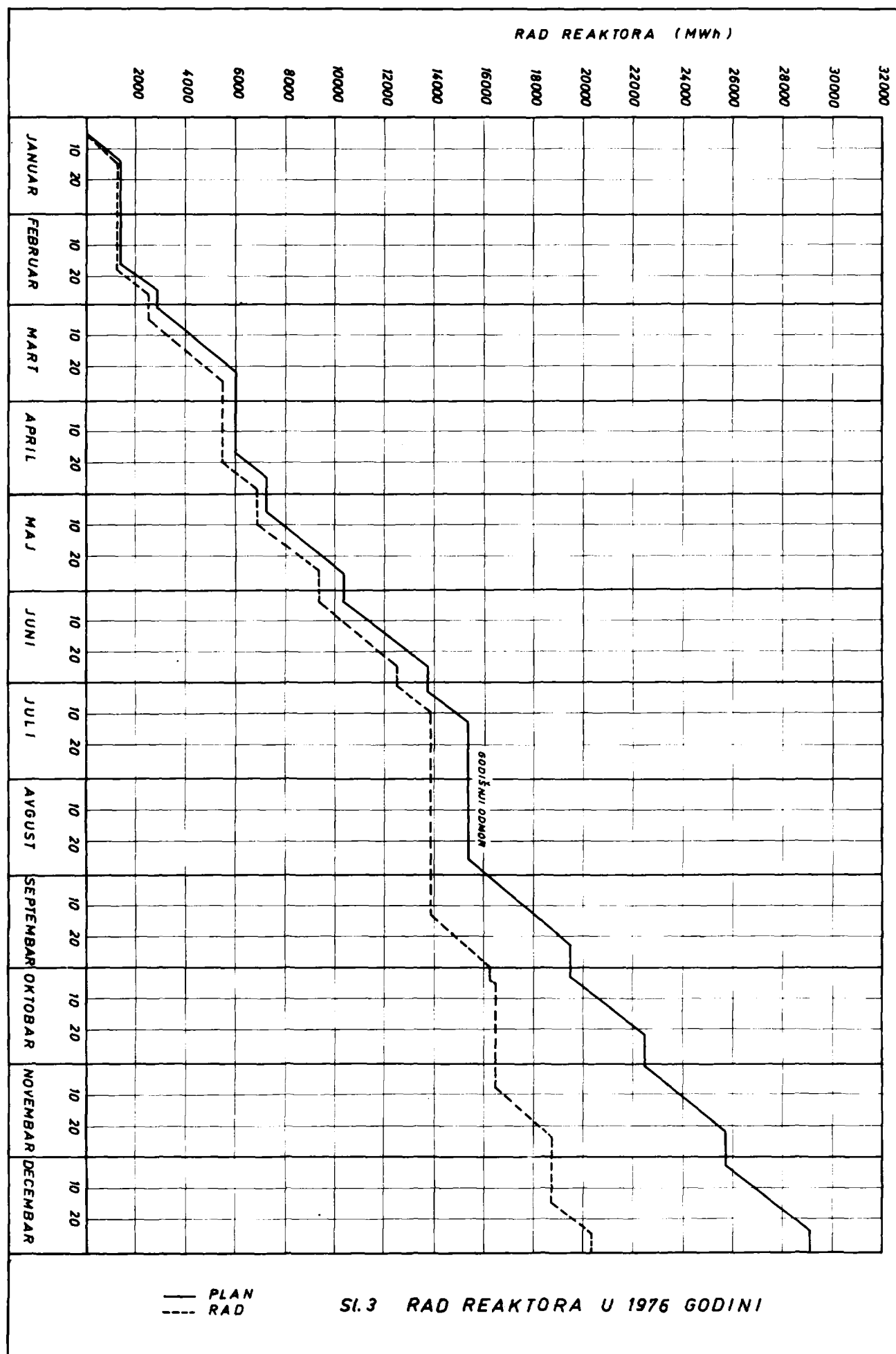
1. Rad reaktora (MWh) po godinama (1960-1976)
2. Srednja dnevna snaga reaktora u 1976. godini
3. Rad reaktora (MWh) po mesecima za 1976. godinu
4. Procenat iskorišćenja eksperimentalnog prostora
u 1976. godini

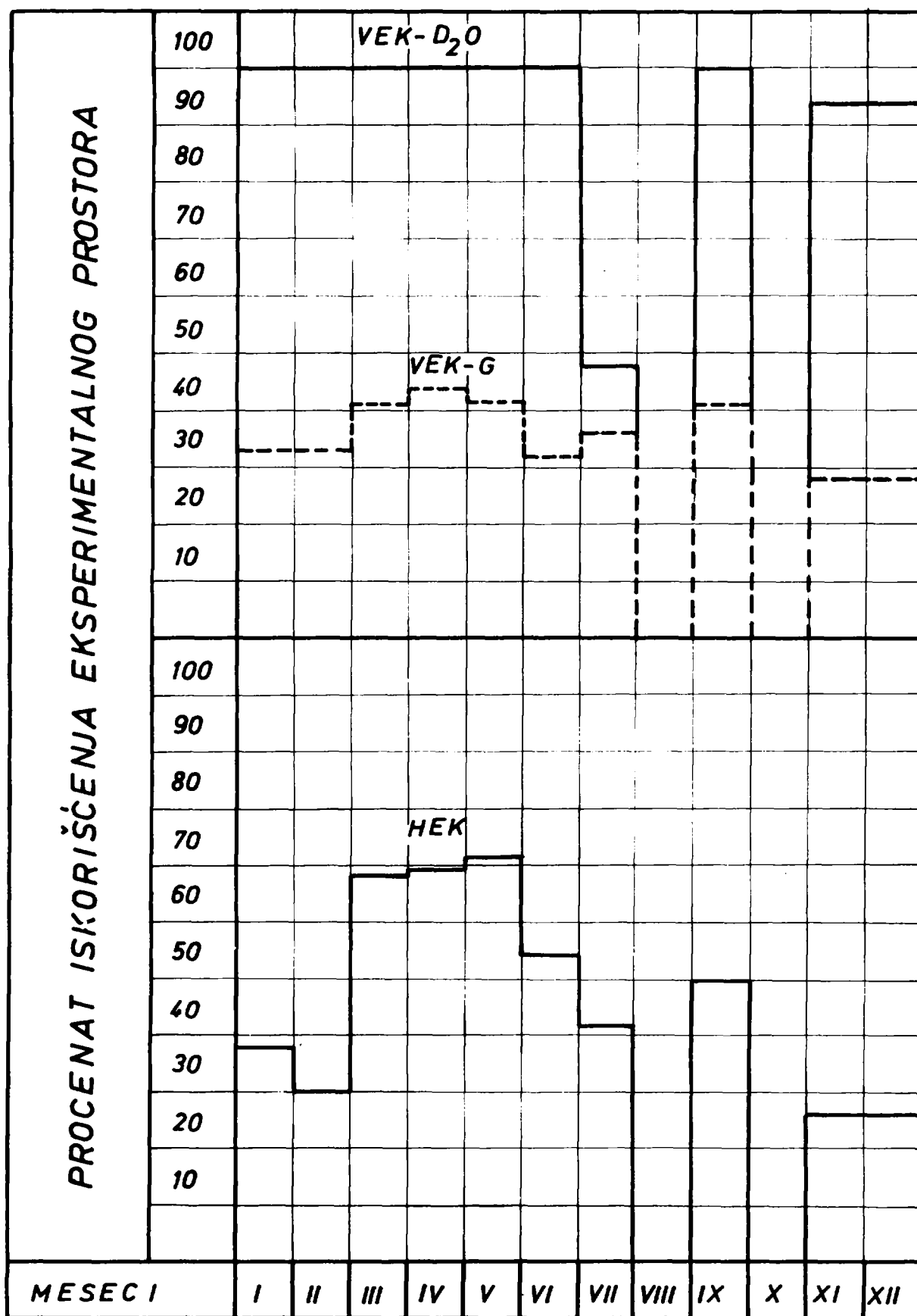
Decembar 1976. - Vinča



SI.2 SREDNJA DNEVNA SNAGA REAKTORA RA
U 1976 GODINI









Naslov/autor EKSPERIMENTALNA KAMPANJA REAKTORA RA SA 4 ANALA SA 80% OBOGAĆENIM DISPERZIONIM GORIVOM R.Martinc, M.Milošević, S.Cupać, S.Kozomara		IBK -	RA ID - 114
		Datum 11.XII.1976	Broj strana
Distribucija B. Perović M. Petrović D. Popović P. Strugar 2x Dj. Lazarević M. Milošević 2x M. Nikolić Z. Zarić M. Ninković R. Martinc 3x S. Kozomara S. Cupać V. Bulović J. Radivojević M. Živanović 2x S. Koički V. Dimić V. Teodosić A. Borojević B. Dokić I. Vozab V. Strezoski Č. Teofilovski Arhiva RA 12x RZNS 5x		Apstrakt Predstoji početak korišćenja novog 80% obogaćenog uranskog disperzionog goriva u reaktoru RA. Ekonomske i tehničke analize dale su prednost postupku postepenog uvođenja novog goriva u reaktor RA. Prema tome, obimne teorijske i eksperimentalne analize i druge pripreme usmerene su na prelazni režim na bazi parcijalnog uvođenja novog goriva u reaktor, tj. na reaktorsko jezgro sa dve vrste goriva. Cilj ovih analiza i priprema jeste obezbeđivanje svih uslova za siguran rad reaktora RA u prelaznom režimu. Ove analize i pripreme su uglavnom kompletirane. Međutim, nedostaje još eksperimentalni podatak o utrošku goriva za određeni rad reaktora na nominalnoj snazi tj. o dnevnom padu ugrađenog viška reaktivnosti. Ovaj podatak neophodan je kod planiranja izmena goriva (količine svežeg goriva i učestanosti izmena) u prelaznom režimu. Do ovog podatka može se doći samo putem normalnog rada reaktora u toku vremena znatno dužeg od vremena u kome se uspostavlja ravnotežno zatrovanje, kao vremena između dva preliivanja D₂O kondenzata u aktivnu zonu RA. U tom smislu je planirana desetodnevna eksperimentalna kampanja u decembru 1976. U ovom izveštaju izloženi su oni najznačajniji rezultati sigurnosnih analiza i priprema koji ukazuju na potpunu sigurnost rada reaktora tokom ove eksperimentalne kampanje, sa aspekta poštovanja ograničenja najvažnijih parametara koji utiču na sigurnost reaktora, kao što su reaktivnost, toplotna i temperaturska ograničenja za gorivo i za reaktor, itd. Podaci koji budu dobijeni iz ove eksperimentalne kampanje su od značaja jer će se na osnovu njih konačno definisati dalji protok svežeg novog goriva, tokom prelaznog režima.	

S A D R Ž A J

Strana

1. UVOD	1
2. PRIPREME IZVRŠENE NA REAKTORU RA SA 2% OBOGAĆENIM GORIVOM U VEZI UVODJENJA 80% OBOGAĆENOG GORIVA U REAKTOR RA	5
2.1. <u>Stabilizacija prostorne raspodele izgaranja i snage putem primene odgovarajuće šeme iz- mene goriva (definisanje "referentnog" jez- gra reaktora RA)</u>	5
2.2. <u>Mere za smanjenje termodinamičkog naprezanja i toplotnog preopterećenja gorivnih elemen- ta RA</u>	7
2.3. <u>Kalibracija sistema kontrolnih šipki reak- tora RA u referentnom jezgru reaktora RA</u>	8
2.4. <u>Rutinizacija kalibracije "fluksne" snage reaktora RA preko zbira toplotnih snaga tehnoloških kanala</u>	10
3. PREGLED REZULTATA TEORIJSKIH SIGURNOSNIH ANALI- ZA ZA PRELAZNI REŽIM REAKTORA RA SA NOVIM GORI- VOM	13
3.1. <u>Odziv referentnog sistema RA u pogledu reaktivnosti i raspodele fluksa i snage na perturbaciju 80% obogaćenim gorivom</u>	13
3.1.1. Teorijski postupak	13
3.1.2. Proračun odziva referentnog jezgra RA u pogledu reaktivnosti i prostorne ras- podele snage na perturbaciju 80% oboga- ćenim gorivom	14
3.1.3. Proračun reaktivnosti uz premeštanje kanala	16
3.2. <u>Aktivnost izotopa u 80% obogaćenom gorivu</u>	19
3.3. <u>Proračun odnosa utroška goriva i rada re- aktora pri početku prelaznog režima</u>	22

1. U V O D

U vreme kada je reaktor RA počeo sa radom (1959) on je spadao u porodicu visokofluksnih istraživačkih reaktora iz koje je u medjuvremenu ispao usled razvoja istraživačkih reaktora u drugim zemljama. Zbog toga postoji stalni pritisak osnovnih korisnika reaktora RA da se neutronske fluks u reaktoru, kao i intenzitet neutronske snopova iz reaktora, povećaju. Pošto izmene komponenti sistema za hlađenje reaktora praktično ne dolaze u obzir, ostala je samo mogućnost da se povećanje fluksa postigne uvodjenjem visokoobogaćenog goriva u reaktor RA.

Ove mogućnosti razmatraju se već duže vremena. U tom smislu vršena je uporedna analiza za dve vrste visokoobogaćenog goriva /1/ i /2/. U okviru analize u Ref./1/ osnovni kriterijum za uporedjenje je bio utrošak goriva za dati rad reaktora, jer računski postupak sa kojim se raspolagalo nije bio pogodan za konfiguracije jezgra različite od pune konfiguracije (84 kanala), niti je bio pogodan za proračun apsolutne vrednosti neutronske fluksa. U okviru analize iz Ref./2/ osnovni kriterijum za uporedjenje bili su i utrošak goriva i veličina neutronske fluksa, i to za nekoliko osnovnih konfiguracija jezgra. Na osnovu rezultata analize iz Ref. /2/, kao i na osnovu drugih pokazatelja doneta je januara 1974. godine odluka o kupovini 80% obogaćenog goriva. Medjutim, parametri rešetke u zavisnosti od stepena izgaranja goriva objavljenim u Ref./1/ bili su osnovni ulazni parametri koji su omogućili analize u Ref./2/ kao i sve ostale teorijske analize, čiji su rezultati prikazani u tačkama 3.1., 3.2., 3.3. i 3.6. ovog izveštaja, ili one koje tek treba da budu uradjene.

Analize iz /1/ i /2/ radjene su za ravnotežno izgaranje. Na osnovu analize iz /2/ zaključeno je da je najpovoljniji (kao sa aspekta sigurnosti, tako i sa aspekta opšteg i lokalnog povećanja fluksa i ekonomičnosti) ravnotežni režim izgaranja sa punom konfiguracijom jezgra i primenom najekonomičnije šeme izmene goriva, tj. sa maksimalnim mogućim srednjim izgaranjem goriva koje je moguće ostvariti na reaktoru RA. Naravno

sve ovo važi uz pretpostavku da je za disperziono gorivo dopušteno (sa aspekta sigurnosti) maksimalno izgaranje. Medjutim, odmah posle donošenja odluke o kupovini 80% obogaćenog goriva, a naročito posle dolaska tog goriva u IBK (dec.1975.), postalo je aktuelno da se izvrši analiza prelaznog režima sa aspekta ekonomičnosti, a pre svega sa aspekta sigurnosti.

Postoje dva osnovna postupka za prelazni režim prilikom uvođenja novog goriva u reaktor RA:

- a. Postupak uklanjanja svog goriva iz reaktora RA i zatim formiranja novog jezgra isključivo od svežeg 80% obogaćenog goriva.
- b. Postupak parcijalnog uvođenja 80% obogaćenog goriva u postojeće jezgro reaktora RA sa poluizgorelim 2% obogaćenim gorivom.

Prvi postupak ima sve prednosti nad drugim u pogledu ekonomičnosti i nekih drugih tehničkih uslova /3/. Najznačajnije prednosti jesu:

1. Ne baca se znatna količina poluizgorelog 2% obogaćenog goriva koje ^{ve} grubo govoreći, ekvivalentno polovini šarže svežeg 2% obogaćenog goriva.
2. Ne otpisuje se u jednom momentu gotovo polovina šarže 80% obogaćenog goriva.
3. Ne smanjuju se ~~ka~~ (u početku prelaznog režima) eksploatacione karakteristike reaktora u pogledu neutronske fluksa i snopova.
4. Ne pojavljuje se problem istovremenog odlaganja 924 gorivna elementa iz reaktora RA u situaciji kad je smeštaj celokupne količine goriva od 1959. godine do sada i onako problem za sebe.
5. Ne izlaže se teška voda ubrzanom procesu kvarenja izotopnog sastava zbog kompletnog pražnjenja jezgra.

6. Ne obustavlja se rad reaktora na duže vreme u jednom neprekidnom vremenskom razmaku (zbog poslova pražnjenja reaktora, formiranja novog jezgra i kompletnog kritičnog eksperimenta).

Ukupan odgovarajući finansijski efekat po OOUR 180 (Reaktor RA) i OOUR-korisnike reaktore RA je teško proceniti, ali je sigurno da se on kreće između 2 200 000 i 3 000 000 dinara.

Gruba analiza sa aspekta sigurnosti takodje odmah pokazuje da postupak formiranja jezgra od svežeg goriva nema prednosti u odnosu na postupak parcijalnog uvođenja. U slučaju prelaznog režima po gornjem postupku a. i nominalne snage reaktora RA od 6,5 MW, maksimalno opterećenje gorivnih elemenata bilo bi za oko 50% veće od maksimalno dopuštenog opterećenja prema /4/, a pri snazi reaktora od oko 4,3 MW, pojedini elementi bi padali pod maksimalnim dopuštenim opterećenjem. Ovakve redukcije snage uglavnom nebi bile potrebne kod prelaznog režima na bazi parcijalnog uvođenja goriva.

Medjutim to ne menja činjenicu da je za prelazni režim na bazi parcijalnog uvođenja goriva neophodna detaljna i sveobuhvatna sigurnosna analiza, na bazi teorijskih proračuna i eksperimenata, čemu se pristupilo tokom 1975. i 1976. godine i što je dobrim delom predmet ovog izveštaja.

Ovde treba napomenuti da je na reaktoru TVRS u ITEF u Moskvi primenjen postupak uklanjanja svog 2% obogaćenog goriva i formiranja novog jezgra od svežeg 80% obogaćenog goriva. Medjutim, mi nismo proizvođači tog goriva niti planiramo eventualnu izgradnju novih reaktora sa tim gorivom, pa nemamo ni takvih motiva za izvođenje kritičnog eksperimenta sa novim gorivom. Od značaja je da od strane sovjetskih stručnjaka iz ITEF (prilikom naše posete tom Institutu) nije bilo primedbi sa aspekta sigurnosti na naš program prevodjenja, tj. a prelazni režim na bazi parcijalnog uvođenja novog goriva /5/.

Te međjutin ne znači da nema presedana za reaktorske jezgre sa "mešanom" rešetkom, koja će u principu karakterisati i naš reaktor tokom prelaznog režima.

Na reaktoru TRIGA u Ljubljani sa veoma sličnim motivima kao što mi imamo (povećanje neutronske fluksa), uvedeno je novo gorivo sa znatno većim obogaćenjem od onoga koje je godinama korišćeno u tom reaktoru. Novo visokoobogaćeno gorivo uvedeno je u centralnu zonu sa najvišim fluksom i specifičnim opterećenjem goriva u reaktoru, pri čemu je u većem delu jezgra ostavljeno staro poluizgorelo gorivo ~~RA~~. Tom prilikom su ostvareni i pozitivni efekti u pogledu povećanja neutronske fluksa.

Poznato je takođe da se u nekim savremenim reaktorima nuklearnih elektrana napušta rešenje problema veoma velike razlike početnog i ravnotežnog jezgra, na bazi ugradnje "sagorljivih štropa" (najčešće bora), tj. da se umesto tog rešenja primenjuje formiranje početnog jezgra u punoj konfiguraciji, ali sa različitim jezgrom sastavljenim od goriva sa dva stepena obogaćenja. /6/ Pri tome su problemi, vezani za efekte sprege zona sa dva vrste goriva, veći nego u slučaju reaktora RA, jer se radi o većoj razlici u količini U^{235} po gorivnom elementu (koja u slučaju 2% i 30% obogaćenog goriva reaktora RA iznosi svega oko 6%) i jer se radi o obično - vodenim reaktorskim sistemima, sa daleko većim stepenom interferencije između gorivnih elemenata nego što je to slučaj kod dobro termalizovanog teškovećnog sistema RA.

2. PRIPREME IZVRŠENE NA REAKTORU RA SA 2% OBOGAĆENIM GORIVOM U VEZI UVODJENJA 80% OBOGAĆENOG GORIVA U REAKTOR

2.1. Stabilizacija prostorne raspodele izgaranja i snage puhača primene odgovarajuće šeme izmene goriva (definisanje "referentnog" jezgra reaktora RA)

Odmah posle donošenja odluke da se sigurnosne analize usmere na prelazni režim na bazi parcijalnog uvođenja goriva postalo je jasno da je neophodno obezbediti relativno stabilne parametre reaktora RA sa 2% obogaćenim gorivom. Ovo je bilo potrebno iz sledećeg razloga:

Znalo se unapred da svi eksperimenti vezani za perturbaciju referentnog jezgra novim 80% obogaćenim gorivom neće moći da se obave u toku jednog neprekidnog kratkog perioda vremena, jer bi rezultati iz jedne grupe merenja (posle odgovarajuće obrade i analize tih rezultata) omogućavali sledeću grupu merenja, pri čemu bi se određeni parametri sistema (od interesa za sigurnost) ~~skokovito~~ od grupe do grupe merenja, približavali njihovim dopuštenim granicama, počev od najnižih nivoa, koji dopuštaju najveću sigurnost (kao što su snaga reaktora od 40 KW i reaktivnost koja odgovara upošlenju jednog gorivnog elementa sa 80% obogaćenim gorivom) pa do nominalne snage reaktora, sa 4 normalne i jedna mirna gorivna kanala (sa po 5 elemenata novog goriva u svakom). Čak i kada bi svi ovi eksperimenti, sa analizom međurezultata, i bili izvedeni tokom jednog dužeg zastoja u radu reaktora (na štetu korisnika reaktora, naročito proizvodjača izotopa), to ne bi izmenilo činjenicu da su stabilni i dobro definisani uslovi neophodni i za prelazni režim, tj. tokom širenja zone sa visokoobogaćenim gorivom posle početka prelaznog režima.

U tom smislu isplanirana je u drugoj polovini 1974. godi šema izmene goriva koja bi obezbedila relativno stabilnu (povremenu) i pravilnu (bez skokova po prostornim koordinatama) prostornu raspodelu izgaranja goriva, a time i

stabilnu raspodelu snage i neutronskog fluksa u reaktoru. Relativno stabilna prostorna raspodela ovih parametara obezbedile bi relativno stabilan odziv reaktora RA na iste perturbacije novim 80% obogaćenim gorivom (na isto količini i pozicije tog goriva) tokom izvođenja eksperimentalnog programa kao i dobro definisane i relativno stabilne uslove tokom prelaznog režima tj. tokom postepenog širenja početne zone sa novim 80% obogaćenim gorivom.

Sa primenom nove šeme izmene goriva počelo se februara 1975. godine. Ova šema izmene goriva dosledno je zasnovana na principu protoka svežeg goriva kroz mesta sa maksimalnim fluksom termalnih neutrona u reaktoru RA.

Ovo je postignuto zadržavanjem primene postupka aksijalne inverzije goriva (primene mašine za aksijalno "nošanje" goriva) i uvođenjem višestepenog radijalnog premeštanja goriva /7/, kako je šematski prikazano na slici 1. u prilogu.

I ranije su vršena usavršavanja šeme izmene goriva /8/, kao i neke druge izmene u reaktoru RA /9/, ali su te mere bile isključivo usmerene na povećanje ekonomičnosti reaktorskog gorivnog ciklusa. Ilustracija efekta ovih mera na odstupanje stvarne snage reaktora od "fluksne" nominalne snage /10/ ilustrovano su na slici 2. u prilogu.

Primenom ove nove šeme izmene goriva postiže se dalja značajna ušteda goriva od oko 30% /7/. Međutim, za uvođenje novog goriva u reaktor RA od većeg su značaja drugi efekti primene ove šeme izmene goriva, a to su:

- a. Stabilnija i regularnija prostorna raspodela izgaranja u 2% obogaćenom gorivu reaktora RA. Ako se aktivna zona reaktora RA u skladu sa šemom izmene goriva (prikazanom na sl.1. u prilogu) uslovno podeli na zone sa približno istim srednjim izgaranjem goriva, (kako je prikazano na sl. 3 u prilogu), i ako se moguća odstupanja izgaranja na pojedine zone izraze kao $\Delta(BU)/(BU)_{max}$, onda ta odstupanja u zoni 1 iznose:

do 100% za šemu izmene označenu sa I na sl.2. u prilogu, do 66% za šemu izmene označenu sa II na sl.2. i do 16% za šemu izmene označenu sa III na sl.2., tj. za "referentno" jezgro reaktora RA u koje će se ubacivati novo 80% obogaćeno gorivo. U sličnom odnosu nalaze se odstupanja za pomenute tri osnovne šeme izmene goriva i za ostale zone sa sl.3. iz priloga.

- b. Stabilnija i regularnija prostorna raspodela snage tehnoloških kanala. Efekti iz tačke a. imaju svoj odraz i na relativnu prostornu raspodelu snage tehnoloških kanala, što je prikazano na sl.4. u prilogu.

Najveće razlike u relativnoj raspodeli snage (normirano na srednju snagu) u periodu od septembra 1975. do septembra 1976. ne prelaze %, dok su te razlike u ranijim periodima dostizale %.

2.2. Mere za smanjenje termodinamičkog naprezanja i toplotnog opterećenja gorivnih elemenata

Proučen je toplotni režim reaktora neposredno posle dizanja na nominalnu snagu od 6,5 MW. Ustanovljeno je da je u toku prvih nekoliko minuta efektivna snaga reaktora veća od nominalne ("fluksne") snage za čitavih 20% - 25%, pri kraju prvih pola sata za oko 16%, posle dva sata za oko 12% a posle 1,5 dana za oko 6%. To je u najvećoj meri posledica menjanja "koeficijenta sprege" između "davača snage" (jonizacione komore koja meri neutronske fluks) u bočnoj vodenoj zaštiti i aktivne zone reaktora, usled zagrevanja grafitnog reflektora koji se nalazi između njih. Ovaj efekat je bio poznat i ranije, ali ipak ništa nije urađeno da se izbegne znatno dopunsko toplotno opterećenje gorivnih elemenata i to upravo u najnepovoljnijem momentu maksimalnog termodinamičkog naprezanja goriva.

Pošto su pojedini gorivni elementi u normalnom radnom režimu izloženi toplotnom opterećenju bliskom maksimalnom dopuštenom opterećenju, to su u prvih nekoliko minuta (uz maksimal-

no termodinamičko naprezanje) ti gorivni elementi toplotno čak i preopterećeni.

Zbog toga je režim podizanja na punu snagu izmeñjen /10/ i uveden standardni režim dizanja na snagu po sledećem postupku:

Reaktor se diže na 0,66 od nominalne snage u toku prvih pola časa rada. U toku sledeća 2,5 časa reaktor radi na 90% od nominalne ("fluksne") snage, posle čega prelazi na punu nominalnu snagu. Ovakav režim dizanja reaktora na nominalnu snagu je veoma povoljan i za standardne radne uslove, medjutim, sa aspekta prelaznog režima time se izbegava "superpozicija" povećanja snage kod samog starta reaktora od oko 20%, sa lokalnim povećanjem snage od oko 10% (u odnosu na slučaj ubacivanja svežeg 2% obogaćenog goriva) do koga dolazi kod ubacivanja svežeg 80% obogaćenog goriva u "referentno jezgro" tokom prelaznog režima.

2.3. Kalibracija sistema kontrolnih šipki reaktora RA u referentnom jezgru reaktora RA

Pošto krive za efikasnost pojedinih šipki kontrolnog i regulacionog sistema u zavisnosti od dubine uronjavanja u reaktor nisu merene posle prelaska na korišćenje mašine za aksijalno "mešanje" goriva, tj. posle uspostavljanja ravnotežnog režima koji odgovara šemi izmene goriva uz "aksijalnu inverziju" goriva, to je bilo neophodno izvršiti ova merenja. Bez korektnih kalibracionih krivi kontrolnih šipki razna relativna merenja reaktivnosti, vezana za unošenje novog goriva u reaktor RA, takodje ne bi bila korektna.

Za izražavanje efekata reaktivnosti vezanih za ubacivanje apsorbera ili izvora (gorivnih elemenata i kanala u reaktor), kao i za izražavanje temperaturskog efekta, efekta zatrovanja i efekta pada reaktivnosti usled izgaranja goriva, mnogo je podesnije primeniti relativnu reaktivnost u procentima od ukupnog kapaciteta sistema kontrolnih šipki, nego u apsolutnim jedinicama reaktivnosti, utoliko pre što su relativna merenja efikasnosti kontrolnih šipki daleko tačnija

od merenja apsolutnih vrednosti, kao i zbog toga što sve promene reaktivnosti u kritičnom reaktoru moraju biti manje od slobodnog kapaciteta sistema kontrolnih šipki.

Što tačnije pozavanje apsolutnih vrednosti reaktivnosti potrebno je kod kinetičkih analiza, kao što su analize ekskurzija snage i sl., međjutim takve analize nisu radjene za početak prelaznog režima, budući da se on u tom pogledu, zbog male količine novog goriva, ne može razlikovati bitno od "referentnog" jezgra sa 2% obogaćenim gorivom, za koga su takve analize radjene ranije.

Zbog toga je izmerena efikasnost pojedinih šipki kompenzacionog i regulacionog sistema, izražena u odnosu na ukupan kapacitet sistema ovih šipki.

Rezultati ovih merenja prikazani su na sl.5. u prilogu. Sve krive obračunate su na ukupan kapacitete sistema kompenzacionih i regulacionih šipki bez šipke ST 1, koja je u vreme merenja bila van upotrebe zbog iskidane sajle.

Prikazana je i razlika u obliku kalibracionih krivih snimljenih pre primene aksijalne inverzije goriva i krivih snimljenih pre početka merenja efekata unošenja 80% obogaćenog goriva u reaktor RA.

Ove se krive veoma razlikuju najverovatnije uglavnom zbog sasvim različitog rasporeda stepena izgaranja u aksijalnom pravcu (stare krive odgovaraju većem izgaranju u aksijalno centralnim gorivnim elementima, a najnovije krive odgovaraju većem izgaranju goriva na vrhu i dnu gorivnog kanala).

Medjutim, veoma je verovatno da odredjeni uticaj ima i "izgaranje" samih kontrolnih šipki, koje je najveće na donjem kraju šipki. Na ovaj efekat ukazano nam je i prilikom posete reaktoru TVRS u ITEF u Moskvi /5/. Udeo ovog efekta biće procenjen na osnovu uporedjenja efikasnosti šipke ST 1, koja je pre kratkog vremena zamenjena novom, prilikom odgovarajućeg remonta ove šipke.

Kalibracijom sistema kompenzacionih i regulacionih šipki omogućena je mnogo korektnije merenje odnosa reaktivnosti koja se unosi 2% i 80% obogaćenim gorivom ili koja se unosi različitom količinom 80% obogaćenog goriva. Ujedno omogućeno je korektno merenje dnevnog pada reaktivnosti pri normalnim radnim uslovima odnosno korektno planiranje količine svežeg 80% obogaćenog goriva za planirani period rada reaktora.

2.4. Rutinizacija kalibracije "fluksne" snage reaktora RA pomoću zbira toplotnih snaga svih tehnoloških kanala

Reaktor RA ima više sistema za indiciranje snage, ali je samo sistem: galvanometar - jonizaciona komora za merenje neutronske fluksa, tj. sistem za indikaciju "fluksne" snage uključen u sistem automatskog održavanja snage na zadatom nivou.

Iz podataka na sl. 2 u prilogu vide se fluktuacije toplotne snage reaktora RA (izračunate kao zbir snaga svih tehnoloških kanala) uvek pri istoj nominalnoj "fluksnoj" snazi od 6,5 MW. Ovi podaci odgovaraju reaktoru sa zagrejanim reflektorom.

Izraz "fluksna" snaga je uslovan i označava snagu koja se očitava na galvanometrima na komandnom pultu, koji su kalibrisani na osnovu pretpostavke o proporcionalnosti veličine neutronske fluksa u bočnoj vodenoj zaštiti i snage reaktora, tj. na osnovu pretpostavke o konstantnosti tog faktora proporcionalnosti.

O posledicama nekorektnosti ove pretpostavke tokom zagrevanja grafitnog reflektora već je bilo reči u tački 2.2. ovog izveštaja.

Medjutim, podaci na sl. 2 govore da ima znatnih fluktuacija snage i pri ravnotežnoj zagrejanosti grafitnog reflektora /10/.

Odmah se može videti da su ova odstupanja "fluksne" i stvarne snage dvojake prirode:

2.4.a Sistematska odstupanja koja su tipična za karakteristične periode u radu reaktora, ukratko objašnjene na sl. 2

Ova odstupanja zavise od "formfaktora" neutronskega fluksa u aktivnoj zoni i grafitnom reflektoru, odnosno od dubine izgaranja koje karakteriše dati period.

2.4.b. Fluktuacije u okviru karakterističnih perioda rada reaktora, tj. fluktuacije od kampanje do kampanje, koja se mogu objasniti raznim "zasenčenjima" u pravcu komora "davača snage" (uzrokovanim jako apsorbujućim uzorcima i sl.) i nestabilnostima ili neispravnostima na liniji jorizacijske komore i galvanometar; dok je dobar deo ovih fluktuacija jednostavno nije objašnjen (na pr. porast snage u junske kampanji 1976)

Zbog toga je uvedena kontrola korektnosti pokazivanja "fluksne" snage na galvanometru u vreme između 2,5 i 3 časa posle starta reaktora, tj. pre podizanja "fluksne" snage sa 5,9 MW na 6,5 MW. Kontrola se vrši preko proračuna efektivne snage reaktora, kao zbira snaga svih kanala, uz dopuštenu previšnju do 15%, pošto je to inače karakteristična razlika za prvi period od 3 časa rada (tačka 2.2. ovog izveštaja). Ukoliko je ta razlika manja od 15% dopušta se prelazak na nominalnu "fluksnu" snagu od 6,5 MW posle tri časa rada. U suprotnom se vrši odgovarajuća "rekalibracija" odnosno smanjenje "fluksne" snage, uz pristupanje analizi uzroka ovakvog odstupanja. Ovakav postupak sprečava postizanje snage reaktora većih od dopuštene, ali ne eliminiše sasvim fluktuacije snage, jer se ove provere i "rekalibracije" vrše u vreme dosta brzog menjanja (pada) stvarne snage sa vremenom. Zbog toga se pokazalo neophodnim da se i eventualna definitivna rekalkibracija "fluksne" snage izvrši posle 1,5 dana reaktora, kada je otpao najveći deo prelaznih stanja (uglavnom grejanje reflektora i zatrovanje reaktora).

Praksa vršenja ovih kontrola, uvedena u toku 1976. godine, korisna je pre svega sa aspekta onemogućavanja neprijetnih iznenađenja u pogledu nekontrolisanog previšnja stvarne

toplotne snage reaktora. Medjutim ova praksa je korisna i radi odgovarajućeg uvežbavanja pogonskog osoblja (pre svega šefova smena), jer će ove kontrole i "rekalibracije" biti od prvostepenog značaja za prelazni režim reaktora sa novim 80% obogaćebim gorivom.

Problem rekalkibracije "fluksne" snage ozbiljno je rasmatran, jer će promena faktora proporcionalnosti između struje u jonizacionoj komori i stvarne snage reaktora tokom prelaznog režima sa 80% obogaćenim gorivom (iz razloga pomenutih u tabeli 2.4.a) biti veće nego do sada.

Zaključeno je:

- a. da će se rekalkibracija galvanometra morati da se vrši posle svake izmene goriva, tj. uvođenja nove količine 80% obogaćenog goriva, sve do dovoljnog približavanja ravnotežnom režimu,
- b. da je postupak rekalkibracije galvanometra putem merenja raspodele neutronskog fluksa mnogo nepraktičniji i nepouzdaniji od direktnog merenja snage reaktora, kao zbira snaga svih tehnoloških kanala.

Prema tome uvođenje kontrole i rekalkibracije "fluksne" snage reaktora, u formi rutinske mere, značajna je priprema za prelazak reaktora RA na visokoobogaćeno gorivo.

3. PREGLED REZULTATA TEORIJSKIH SIGURNOSNIH ANALIZA ZA PRELAZNI REŽIM REAKTORA RA SA NOVIM GORIVOM

3.1. Odziv referentnog sistema RA u pogledu reaktivnosti i raspodele fluksa i snage na perturbaciju 80% obogaćenim gorivom.

3.1.1. Teorijski postupak

Svi računi kritičnosti i raspodele apsolutnog neutronskog fluksa i snage u reaktoru RA sa različitim rasporedom izgaranja, napravljeni su korišćenjem dvogrupnog difuzionog koda HORA (verzije R i Z za radijalnu i "slab" geometriju)

Neke dobre osobine ovih kodova jesu:

- a. Potpuna numerička stabilnost rešenja
- b. Mogućnost interpretacije reaktorskog sistema sa velikim brojem zona i sa proizvoljnim rasporedom aktivnih i pasivnih zona.
- c. Vrednosti "perpendikularnog" baklinga mogu biti različite za različite zone, što predstavlja (uz primenu određene iteracionog postupka, koji za sada nije automatizovan) određenu mogućnost za delimično uzimanje u obzir realne dvodimenzionalne situacije.
- d. Mogućnost zonalne primene koeficijenata anizotropije
- e. Mnogo kraće vreme proračuna u odnosu na dvodimenzionalne difuzionne kodove.

Ulazni parametri rešetke u funkciji izgaranja, za sve izvršene proračune, dobijeni su na bazi kombinacije "burn up" koda TER i transportnog ćelijskog koda VESTERN, uz primenu Westcott-ovog formalizma za određivanje spektralnih karakteristika. Ovi podaci obavljani su u /1/, odakle su i preuzeti.

U najvećem broju slučajeva u kojima je bilo moguće uporediti rezultate proračuna, na bazi korišćenja gore objašnjene integralnog postupka za proračun, sa odgovarajućim eksperimentalnim vrednostima za reaktivnost, raspodelu fluksa i

stepen izgaranja, dobijena su odstupanja od 10% do 20%, što se može oceniti kao veoma prihvatljivo sa aspekta potrebe obimnih optimalizacionih i preliminarne analize.

3.1.2. Proračun odziva referentnog jezgra RA u pogledu reaktivnosti i prostorne raspodele snage na perturbaciju 30% obogaćenim gorivom

Veći deo ovih proračuna izvršen je pre prvog eksperimenta na "gultoj snazi" (snaga RA od oko 40 KW) pre svega radi procene unete reaktivnosti na bazi proste zamene gorivnih kanala referentnog jezgra RA novo formiranim kanalom sa 0% obogaćenim gorivom, za karakteristične pozicije kanala od centra ka periferiji, sa rastućim stepenom izgaranja goriva.

Proračun lokalnih izmena snage u kanalima, kod ovih izmena, bio je potreban kod planiranja eksperimenata sa novim gorivom sa manjim i srednjim snagama.

Da bi se izvršili ovi proračuni potrebno je bilo najpre konvencijno definisati "referentni" sistem RA, što je učinjeno na sledeći način:

Radi uprošćenja i skraćenja postupka, zonalne vrednosti izgaranja su aksijalno usrednjene. Zonalne vrednosti izgaranja i najznačajniji ulazni podaci za referentni sistem dati su na tabeli 3.2.1.

Na toj tabeli dati su i rezultati proračuna za reaktivnost i raspodelu snage kanala po zonama.

Račun referentnog jezgra vršen je sa sledećom zonalnom raspodelom:

Zona 1. - Vertikalni kanal VK5 sa moderatorom pripadajućim centralnoj ćeliji (homogenizacija D_2O , Al i šupljine).

Zone 2,3,4 i 5-aktivne zone (sa većim protokom hladioca)

Zona 6 - Homogenizovana prstenasta zona, ekvivalentna materijalima i zapremini ostalih 8 vertikalnih kanala u jezgru RA.

U okviru numeričkog eksperimenta sa "ubacivanjem" kanala sa 80% obogaćenim gorivom (bez premeštanja "izvadjenih" kanala u druge pozicije jezgra RA), jedna po jedna aktivna zona (u okviru 6 nezavisnih računa primenom koda HORA) "popunjavana" su kanalima sa svežim novim gorivom.

Rezultati proračuna u pogledu razlika reaktivnosti i opterećenja kanala (u odnosu na referentno jezgro, odnosno relevantne parametre sa tabele 3.1.1.) obračunati po jednom kanalu, prikazani su na tabeli 3.1.2.

Proračun reaktivnosti uz premeštanje kanala

Na osnovu gornjih rezultata procenjeno je da je za početni prelaznog režima dovoljno formirati jezgro sa 4 kanala u četvrtoj aktivnoj zoni (koja prema gornjoj raspodeli na zonu ima 18 kanala). Zbog toga je račun ponovljen sa nešto izmenjenom raspodelom na zone. Pregled odgovarajućih ulaznih podataka i rezultata proračuna dat je na Tabeli 3.1.3.

Račun je izveden za slučaj bez "premeštanja" izvadjenih iz zone kanala, kao i sa premeštanjem izvadjenih kanala iz zone 3. u zonu 5.

TABELA 3.1.3.

Proračun reaktivnosti sistema sa 4 kanala sa 80% obogaćenim gorivom, sa i bez premeštanja kanala

Aktivna zona	Broj kanala	bez premešt.	sa premešt.	
		k_{∞}	k_{∞}	
1	8	1,4058	1,4058	zona sa većim protokom hladioca
2	24	1,3562	1,3562	
3	4	1,7204	1,7204	
4	20	1,2902	1,2902	zona sa manjim protokom hladioca
5	4	1,2902	1,3562	
6	24	1,2902	1,2902	
Reaktivnost sistema RA (pcm)		2834	2991	
Ugradjena reaktivnost po kanalu (pcm/kanal)		290	330	

TABELA 3.1.2:

Porast reaktivnosti i lokalne snage (obračunatih po jednom kanalu) usled ubacivanja svežeg 2% i 80% obogaćenog goriva u referentni reaktorski sistem RA

		geometrijska specifikacija aktivnih zona iste kao na Tabeli 3.1.1.					
		1	2	3	4	5	6
k_{∞}	2%: 1,4313 80%: 1,7204	Vrednosti k_{∞} u zonama koje nisu popunjene svežim 2% ili 80% obogaćenim gorivom ostaju iste kao u Tabeli 3.1.1.					
Porast snage u kanalima sa 80% ili 2% obogaćenim svežim gorivom u odnosu na vrednosti za snage (%) kanala iz TABELA 3.1.1.	2%	3,0	2,4	9,7	8,2	17,0	18,7
	80%	16,4	12,2	18,3	15,0	26,5	33,1
Ugrađjena reaktivnost po kanalu u odnosu na referentni sistem (pcm/kanal)	2%	35	31	109	32	104	65
	80%	503	448	464	337	269	167

Napomena: vrednosti za reaktivnost nisu korigovane za smanjeni broj elemenata.

3.2. Aktivnost izotopa u 80% obogaćenom gorivu

Na tabeli 3.3.1. dati su podaci o aktivnosti najznačajnijih izotopa u gorivu, posle 20 dana rada reaktora, na neutronskom fluksu nešto većem od srednje vrednosti u reaktoru. Ove aktivnosti odgovaraju radu posle jedne pune kampanje, pa su dobijene aktivnosti nešto veće od onih koje će biti na kraju decembarske kampanje.

Metodologija proračuna ovih aktivnosti data je u Ref /13/.

Medjutim, u slučaju defekta na gorivu (dehermetizacije gorivnog elementa) iz elementa će izaći samo deo ovih aktivnosti i to onaj deo koji je vezan uglavnom za gasovite izotope, koji su tokom rada došli do granice izmedju goriva i košuljice.

Rezultati proračuna procenta količine gasova (za različite izotope) koji su iz goriva došlo do košuljice, u zavisnosti od vrste i dimenzija goriva, kao i radnih uslova u reaktoru i integralnog ozračivanja dati su u Ref /14/.

Za gorivne elemente reaktora RA sa 80% obogaćenim disperzionim gorivom dobijene su vrednosti izmedju 10^{-3} i 10^5 , prema tome vrednosti iz Tabele 3.3.1. će biti jako umanjene, ako se radi o aktivitetu koji će sa gasovitim izotopima izaći iz novih 80% obogaćenih elemenata goriva tokom decembarske kampanje 1976. godine.

Ovaj problem je od šireg značaja i nije vezan posebno za eksperimentalnu decembarsku kampanju. Iz priložene literature i podataka u ovom izveštaju vidi se medjutim, da se raspolaže računskim programima i postupcima za proračun aktivnosti izotopa (produkata fisije i drugih nuklearnih reakcija u gorivu), kao i procenta ovih aktiviteta koji će izaći iz goriva u slučaju akcidenta.

Problem zaštite okoline nije vezan samo za ove proračune, već pre svega za izgradnju sistema za prinudno hladjenje goriva u slučajevima akcidentalnog gubitka hladioca (koja

je u toku), kao i ugradnje filtera u ventilaciju reaktora RA za koju su izvršene gotovo sve analize i proračuni, pa i predprojekat.

Tabela 3.3.1.

Aktivnost izotopa u jednom gorivnom elementu posle prve kampanje posle ubacivanja 80% obogaćenog goriva u reaktor.

Izotop	aktivnost (Ci)	izotop	aktivnost (Ci)
^{85m}Kr	$1,9 \cdot 10^2$	^{89}Sr	$1,62 \cdot 10^2$
^{87}Kr	$2,68 \cdot 10^2$	^{90}Sr	$1,11 \cdot 10^0$
^{88}Kr	$3,8 \cdot 10^2$	^{91}Sr	$8,52 \cdot 10^2$
^{131}J	$2,41 \cdot 10^2$	^{92}Sr	$8,57 \cdot 10^2$
^{132}J	$5,99 \cdot 10^2$	^{95}Zr	$1,74 \cdot 10^2$
^{133}J	$9,72 \cdot 10^2$	^{97}Zr	$8,68 \cdot 10^2$
^{134}J	$1,1 \cdot 10^3$	^{103}Ru	$1,29 \cdot 10^2$
^{135}J	$9,48 \cdot 10^2$	^{105}Ru	$1,33 \cdot 10^2$
^{133}Xe	$8,88 \cdot 10^2$	^{106}Ru	$2,01 \cdot 10^0$
^{138}Xe	$9,76 \cdot 10^2$	^{129m}Te	$1,65 \cdot 10^1$
^{138}Ce	$9,76 \cdot 10^2$	^{134}Cs	$1,5 \cdot 10^2$
		^{137}Cs	$1,1 \cdot 10^0$
		^{140}Ba	$5,98 \cdot 10^2$
		^{144}Ce	$3,58 \cdot 10^1$

3.3. Proračun odnosa utroška goriva i rada reaktora pri početku prelaznog režima

Proračun, koji je bio neophodan za procenu količine novog goriva za decembarsku eksperimentalnu kampanju, kao i za dalji rad reaktora tokom prvog dela prelaznog režima, do sada nije proveravan eksperimentalno, posebno kada je reč o novom 80% obogaćenom gorivu.

Pošto je ovaj podatak od velikog značaja za konačno definisanje prelaznog režima, to je bilo neophodno da se dobiju direktne eksperimentalne vrednosti, koje bi se koristile neposredno, a kojima bi se ujedno proverio odgovarajući računski postupak.

Na tabeli 3.4.1. priloženi su rezultati ^{proračuna} pada reaktivnosti reaktora usled normalnog rada reaktora, tj. količine goriva koju treba ugraditi za obezbeđivanje planiranog perioda rada reaktora. Ovi proračuni odnose se na decembarsku kampanju. Količina goriva koja će biti ubačena u reaktor odgovara raduveće od onog koji je predviđen za eksperimentalnu decembarsku kampanju. To je učinjeno da se nebi desilo da se zbog eventualnih nekorektnosti metodologije proračuna ubaci manje goriva nego što je potrebno.

Proračun se odnosi na 4 kanala sa 80% obogaćenim gorivom, koji su ubačeni u reaktor u pozicije date na sl.5 u prilogu.

Veličina $\Delta \rho$ na Tabeli 3.4.1. jeste: $\Delta \rho = \rho - 1647 \text{ pcm}$

gde je 1674 pcm reaktivnost referentnog jezgra, numerički definisanog u tački 3.1.1. i na Tabeli 3.1.1.

Ortanjem krive za $\Delta \rho$ u zavisnosti od vremena rada na nominalnoj snazi od 6,5 MW odredjen je broj dana rada za koju je $\Delta \rho = 0$, tj. vreme rada reaktora kojom je anuliran ceo višak reaktivnosti dobijen ugradnjom 4 kanala sa 80% obogaćenim gorivom u reaktor RA.

Tabela 3.4.1.:

Najvažniji ulazni parametri i rezultati proračuna za sistem RA sa 4 kanala sa 80% obogaćenim gorivom u zavisnosti od rada reaktora*

Zonalna raspodela		rad reaktora sa datom zonalnom raspodelom					
Broj kanala		0 dana		25 dana		40 dana	
		BU(MWD/KG)	k_{∞}	BU(MWD/KG)	k_{∞}	BU(MWD/KG)	k_{∞}
8		0,92	1.4058	1,68	1.3926	2,12	1.3844
24		3,56	1.3562	4,15	1.3437	4,57	1.3362
4		0	1.7204	23,4	1.7099	37,5	1.7013
20		6,52	1.2902	6,93	1.2803	7,17	1.2742
4		3,56	1.3562	3,91	1.3481	4,12	1.3432
24		6,52	1.2902	6,33	1.2825	7,01	1.2781
Σ		+1317 pcm		+364		-238 pcm	

* Bez korekcija za smanjeni broj elemenata od 80% obogaćenog goriva u kanalu

4. IZBOR PRELAZNOG REŽIMA KORIŠĆENJA NOVOG GORIVA U REAKTORU RA

4.1. Definisanje uslova za početak prelaznog režima

Prelazni režim u radu reaktora RA sa novim 80% obogaćenim gorivom (uz prisustvo starog poluizgorelog 2% obogaćenog goriva) karakterišu sledeće osobine:

- a) Odnos uticaja obe vrste goriva na integralne parametre reaktorskog sistema, koji se menja tokom vremena, sve do prelaska u ravnotežni režim izgaranja i rada reaktora.
- b) U početku prelaznog režima dominantan uticaj ima 2% obogaćeno gorivo posebno u pogledu kinetičkih parametara, efikasnosti sistema kontrolnih šipki, specifičnog odnosa neutronskog fluksa i snage reaktora. Uticaj novog goriva je izrazito lokalnog karaktera. Početkom prelaznog režima najviše su izraženi lokalni efekti interferencije dve vrste goriva, koji se kasnije umanjuju.

Na prelasku iz prelaznog u ravnotežni režim novo gorivo zauzima zone sa većim fluksom (zonu veće "statističke težine" - po definiciji perturbacione teorije), pa ono i utiče odlučujuće na integralne parametre reaktorskog sistema.

Dobro definisani prelazni režim treba da zadovolji sledeće uslove:

4.1.1. Poštovanje primarnih ograničenja proizvođača goriva za novo gorivo.

Ovo se naročito odnosi na početak prelaznog režima, kada su lokalni efekti najviše izraženi i kada se ne sme, bez brižljivih provera i analiza, računati na dobro poznate parametre i opterećenja starog goriva u pozicijama planiranim za početno ubacivanje novog goriva, kao na merilo za opterećenja novog goriva na istim pozicijama.

4.1.2. Poštovanje primarnih ograničenja za staro gorivo tokom prelaznog režima.

Lokalni efekti treba da su prostorno što više ograničeni na zonu u koju se ubacuje novo gorivo. U suprotnom treba preispitati veličinu opterećenja starog goriva u blizini pozicija novog goriva, da bi se sprečilo eventualno probijanje ograničenja za staro gorivo.

Tokom dobro definisanog prelaznog režima ne sme biti velikih i naglih promena u globalnom ~~ponašanju~~ **ponašanju sistema.**

4.1.3. Dinamika prelaznog režima

Prelazni režim treba da bude definisan tako da se naročito tokom približavanja ravnotežnom režimu, obezbedi dinamika zamene goriva (broj gorivnih elemenata koje treba zameniti radi obezbeđivanja odredjenog rada reaktora) koja nije sporija od dobro poznate i u praksi proverene dinamike zamene starog goriva (karakteristike ravnotežnog režima reaktora sa isključivo starim 2% obogaćenim gorivom).

Punim zadovoljavanjem gornja tri uslova obezbeđuje se siguran rad reaktora u prelaznom režimu sa dve vrste goriva.

Postavlja se pitanje kako zadovoljiti gornje tri grupe uslova u slučaju reaktora RA.

Uslovi iz tačaka 4.1.1. i 4.1.2. mogu se proučiti veoma dobro pre početka korišćenja novog goriva u uslovima redovne eksploatacije u prelaznom režimu i to:

a. Preliminarnim teorijskim analizama sa dovoljno dobrim i eksperimentalno što više proverenim setom računskih kodova. Ove teorijske analize treba da obuhvate veliki broj varijanti, u cilju smanjenja nepotrebne ekstenzivnosti eksperimentalnog programa, koji treba da usledi na osnovu rezultata gornje teorijske analize.

- b. Program eksperimenata (u suženim granicama u odnosu na teorijske analize) koji se izvode pod uslovima u reaktoru, koji su za jedan ili dva reda veličine povoljniji od normalnih radnih uslova, sa aspekta sigurnosti.
- c. Na osnovu informacija iz gornjih tačaka mogu se sasvim suziti uslovi za najpovoljniji prelazni režim (naročito početak prelaznog režima). Konačne informacije se tada dobijaju eksperimentalno, pod radnim uslovima u reaktoru koji su samo za nekoliko desetina procenata povoljniji (sa aspekta sigurnosti) od nominalnih. Ovi eksperimentalni rezultati treba da predstavljaju potvrdu da postoje povoljni početni uslovi za izabrani prelazni režim iz tačaka 4.1.1. i 4.1.2. ali ne mogu da daju dovoljno informacija o stepenu zadovoljenosti uslova iz gornje tačke 4.1.3., tj. informacije o dinamičkim karakteristikama prelaznog režima.

Za dobijanje odgovarajućih informacija potrebno je, posle uspešno sprovedenog postupka, opisanog u gornjim tačkama a., b. i c. (što obezbeđuje ~~petpunu~~ sigurnost rada reaktora za relativno kratak period rada reaktora), obaviti i eksperimentalni rad reaktora u periodu vremena koji je dovoljno dugačak da se izadje iz režima prelaznog zatrovanja, a ujedno dovoljno dugačak u odnosu na periodu ponavljanja nekih efekata čisto tehničke prirode.

U okviru jedne takve procedure došlo se do zaključka da sve prednosti ima prelazni režim koji počinje od prstena tehnoloških kanala, najperifernijih u centralnoj zoni reaktora sa većim protokom hladioca. Položaj ovih prstena kanala, tj. lokacija u jezgru RA prikazan je na sl. 5.

Obrazloženje:

- a. Izbor centra aktivne zone za ubacivanje novog goriva bio bi nepovoljan zbog toga što je to mesto sa najvećim toplotnim i temperaturskim opterećenjima u reaktoru, pri čemu lokalni porast snage nije manji nego u slučaju izabranih srednjih lokacija (što se vidi iz Tabele 3.1.2.).

Sem toga sigurno je i bez ikakvog posebnog proveravanja da je dinamika izmene goriva za te lokacije daleko sporija od dinamike za izmenu 2% obogaćenog goriva, kakva je bila pre početka korišćenja novog goriva, čime se odstupa od zadovoljavanja uslova iz tačke 4.1.3.

- b. Izbor potpuno perifernih lokacija takodje nije povoljan i ako se radi o mestima sa najnižim toplotnim i temperaturskim opterećenjima goriva u reaktoru. Ove su lokacije nepovoljne jer su u njima lokalni efekti u pogledu porasta snage dva puta veći nego za izabrane srednje lokacije, pa bi se obzirom na manji protok hladioca postiglo čak i veće temperatursko opterećenje goriva u tim pozicijama nego u srednjim lokacijama. Sem toga naročito drastično bi se odstupilo od uslova da prelazni režim ne treba da uzrokuje velike promene u globalnom ponašanju reaktora. Relativne raspodele fluksa i snage bi bile veoma izmenjene, što bi bilo veoma nepovoljno za hladjenje goriva pri nominalnoj snazi, obzirom da je odnos kalibara kojima se reguliše protok hladioca u dve zone kroz gorivne kanale ^{dat 2A} ~~odredjen~~ ~~u~~ ~~za~~ prostornu raspodelu snage, ~~sa svim~~ različitu od one koja bi se dobila izborom perifernih pozicija za unošenje novog goriva. To bi bilo nepovoljno i za korisnike reaktora.
- c. Obzirom da se izbor sveo na srednje lokacije za ubacivanje novog goriva, samo po sebi se razume da su srednje lokacije sa većim protokom hladioca **povoljnije** od takvih lokacija u zoni sa manjim protokom hladioca.
- d. Prednost izabranih srednjih lokacija je i u tome što se iz tih lokacija najefikasnije može regulisati dinamika protoka svežeg 80% obogaćenog goriva u reaktor, tj. potpuno istrošenog 2% obogaćenog goriva iz reaktora, u smislu potpunog zadovoljavanja uslova iz tačke 4.1.3.

4.2. Uloga izvedenih i predstojećih eksperimenata u definisanju uslova početka prelaznog režima

Izbor lokacija za početak prelaznog režima izvršen je na bazi teorijske analize. Za proveru zadovoljenosti uslova ovako definisanog početka prelaznog režima neophodna je eksperimentalna potvrda.

Za proveru zadovoljenosti uslova iz tačaka 3.1.1. i 3.1.2. predviđeno je izvodjeno dve grupe eksperimenata, i to:

- a. Eksperimenti pod uslovima za dva reda veličine povoljniji ~~su~~ od nominalnih u pogledu snage i za jedan do dva reda veličine povoljniji u pogledu reaktivnosti.

Zbog veoma male snage reaktora (oko 40 KW) za koju su ti eksperimenti planirani, nema direktnih informacija o lokalnim efektima u pogledu snage kanala, ali se za to dobijaju direktne informacije u pogledu reaktivnosti i raspodele neutronskog fluksa. Ova poslednja daje direktan odgovor o zoni prostiranja lokalnih efekata (kod ubacivanja novog goriva) i omogućava semiempirijsku procenu u pogledu lokalnih efekata na raspodelu snage u reaktoru.

- b. Povoljne informacije iz gornjih eksperimenata omogućile bi izvodjenje analognih merenja pri uslovima koji su manji, **ali** dovoljno bliski nominalnim da omoguće direktnu ekstrapolaciju dobijenih podataka na nominalne radne uslove reaktora. To znači da bi eksperimenti bili izvodjeni na snagama do 50% od nominalne i sa 1 - 3 kanala formirana sa po pet svežih 80% obogaćenih elemenata.

Povoljnije informacije iz ovih ^{novih} eksperimenata omogućile bi direktno izvodjenje eksperimentalne kampanje sa novim gorivom pod nominalnim uslovima (ili veoma bliskim), koja bi dala informacije o uslovima iz tačke 3.1.3.

Gore planirani eksperimentalni program izveden je veoma uspešno u celini na reaktoru RA. Uslovi eksperimenta, dobijeni rezultati i rezultati njihove analize dati su u sledećoj tački ovog izveštaja.

5. PREGLED REZULTATA EKSPERIMENATA IZVEDENIH U OKVIRU SIGURNOSNIH ANALIZA REAKTORA RA ZA POČETAK PRELAZNOG REŽIMA KORIŠĆENJA NOVOG GORIVA

5.1. Prostorna raspodela gustine neutrona pri perturbaciji reaktora RA novim 80% obogaćenim gorivom.

Eksperimentat je izveden februara 1976. godine na snazi reaktora od 40 KW sa sledećim ciljevima:

- a. Sticanje informacija o referentnom jezgru u pogledu raspodele gustine neutrona u gorivu reaktora RA.
- b. Sticanje informacija o lokalnom efektu novog goriva na raspodelu neutronskega fluksa.
- c. Sticanje informacija o širenju tog lokalnog efekta na susedne pozicije sa 2% obogaćenim gorivom.
- d. Dobijanje podataka koji mogu da posluže za procenu lokalnog efekta u pogledu snage tehnološkog kanala.

Pošto su informacije o raspodeli fluksa, koje bi bile dobijene aktivacijom detektora u vertikalnim eksperimentalnim kanalima, potpuno neiskoristljive za ciljeve u gornjim tačkama b., c. i d., to je primenjen postupak koji nije ranije primenjivan na reaktoru RA. Napravljeni su nosači sa Co detektorima, koji su spuštteni direktno u gorivne kanale, što je bilo skopčano sa znatnim tehničkim teškoćama. Svaki takav nosač imao je po 11 detektora, smeštenih na sredini visine gorivnih elemenata. Ukupno je ubacivano po 5 takvih nosača u tehnološke kanale i po 3 u vertikalne eksperimentalne kanale, sa ukupno 88 detektora. Merenje je vršeno u referentnom jezgru i u jezgru sa kanalom 0703 u koji je ubačeno 5 svežih 80% obogaćenih gorivnih elemenata. Lokacija kanala sa Co detektorima prikazana je na sl. 6 u prilogu. Lokacija kanala sa 80% obogaćenim gorivom odgovara početku prelaznog režima.

Slična merenja izvršena su decembra 1975, ali sa 2% obogaćenim svežim gorivom u kanalu TK 0703. Ova merenja su samo delimično uspela, ali su dobijena iskustva omogućila uspešno merenje sa 80% obogaćenim gorivom.

Najosnovniji rezultati merenja prikazani su na sl. 7 u Prilogu. Na osnovu ovih merenja izvučeni su sledeći zaključci:

- a. U odnosu na kanal sa poluizgorelim 2% obogaćenim gorivom postoji lokalni porast maksimuma fluksa od oko 4%-8%.
- b. U odnosu na kanal sa 5 svežih 2% obogaćenih elemenata ovaj efekat nije veći od 5%.
- c. Efekat je lokalizovan na kanal u kome je vršena perturbacija svežim gorivom. Efekat u pozicijama susednih kanala je manji od eksperimentalne greške i može se zanemariti.
- d. Ovi rezultati omogućavaju dosta tačnu procenu lokalnog efekta u pogledu porasta snage u odnosu na kanal sa svežim 2% obogaćenim gorivom, gde bi porast snage iznosio oko 10%. Izvršena je i procena porasta snage u poredjenju sa kanalom sa poluizgorelim 2% obogaćenim gorivom koji iznosi oko 15% do 20%.
- c. Pošto je kanal 0703 opterećen sa oko 40% manjom snagom od centralnih kanala u reaktoru to procena iz tačke d. neposredno omogućava eksperimenat na snagama reaktora manjim od nominalne snage.

5.2. Merenje reaktivnosti unete svežim 80% obogaćenim gorivom

Merenja su izvršena februara 1976. godine na snazi od 40 KW. Na sl. 8 u Prilogu dati su rezultati relativne kalibracije sistema šipki regulacionih i kompenzacionih (bez šipke ST1) sistema za referentni sistem RA.

Na sl. 8. u Prilogu dato je uporedjenje kalibracionih krivih (normiranih na istu vrednosti) za jednu kontrolnu šipku. Razlike u obliku krivih su znatne i mogu se objasniti različitim rasporedom aksijalnog izgaranja goriva u kanalu, pre i posle početka primena aksijalne inverzije goriva kod izmena goriva, ma da nije isključen i efekat "izgaranja" donjeg kraja kontrolne šipke usled duge eksploatacije u reaktoru.

Unošenje 5 gorivnih od 80% obogaćenog goriva elemenata u kanal 0703 angažovalo je oko 2,3% ukupnog kapaciteta sistema kompenzacionih i regulacionih šipki, odnosno manje od 3% slobodnog kapaciteta sistema ovih šipki, koji je na raspolaganju za kompenzovanje pozitivnih efekata na reaktivnost u hladnom, nezatrovanom reaktoru, u stanju pred izmenu goriva.

Na osnovu ovih podataka bila bi moguća ugradnja 160 gorivnih elemenata od 80% obogaćenog urana (32 tehnološka kanala sa po 5 elemenata, u pozicijama analognim TK 0703) pri margini 0% (koja razume se nije prihvatljiva sa aspekta sigurnosti, ali je ovakva ugradnja svežeg goriva tehnički moguća). Medjutim, bila bi moguća ugradnja 16 takvih tehnoloških kanala sa marginom sistema kontrolnih (kompenzacionih i regulacionih) šipki od 50%, za hladan i nezatrovan reaktor, što bi sa aspekta sigurnosti bilo potpuno prihvatljivo.

5.3. Merenje lokalnih efekata u pogledu snage usled unošenja 80% obogaćenog goriva.

Na osnovu ranije dobijenih proračunskih i merenih rezultata, oktobra 1976. godine izvršena su merenja svih efekata na snagama reaktora od 200 KW, 600 KW, 1500 KW i 3250 KW (sve ove snage su "fluksne" indicirane snage, dok su toplotne snage bile nešto veće). Na svakoj od ovih snaga reaktor je radio po nekoliko časova pod specijalnim režimom kontrole indikacija radnih parametara reaktora.

Zbog velikih grešaka u merenjima pada temperature hladioca na kanalima podaci upisani za snage od 200 KW i 600 KW i 1500 KW služili su samo za proveru da nema neočekivanih visokih vrednosti, pre nego što se predje na sledeći nivo snage, što je i radjeno. Podaci na 3250 KW fluksne snage (oko 4000 KW toplotne snage) reaktora su konačno obradjeni. Izvod tih rezultata priložen je na Tabeli 5.3.

Reaktor je radio sa tri tehnološka kanala, u kojima se nalazilo po 5 gorivnih elemenata od 80% obogaćenog urana. (Slika 10). Formirani su na sledeći način:

- a. Standardni kanal - SK, koji je ubačen u poziciju 0703.
- b. Merni kanal - MK, koji je ubačen u poziciju 0509
- c. Kontrolni kanal - KK, koji je ubačen u poziciju 0307.

Način formiranja ovih kanala prikazan je na sledećoj tabeli:

kanal*	pozicije svežeg 80% obog.goriva	pozicije svež. 2% U235 goriva	pozicije poluizgor. 2% goriva	Pozicije termopa- rova
SK	3,4,5,6,7	nema	1,2,8,9,10, 11	nema
MK	3,4,5,6,7	1,2,8,9,10,11	nema	3,4,5,6,7
TK	3,4,5,6,7	1,2,8,9,10,11	nema	nema

* Pozicije gorivnih elemenata u kanalu računane su odozdo na više.

Ovakav sastav kanala motivisan je sledećim razlozima:

- a. Kanal SK formiran je na standardan način, po šemi koja se već 10 godina primenjuje kod izmena goriva i koja će se i dalje primenjivati sa novim gorivom.
- b. Kanal MK formiran je sa svežim 2% (umesto sa poluizgorelim) gorivom, jer je gorivo moralo biti neaktivno kod ručnog ubacivanja gorivnih elemenata opremljenih termoparovima u kanal /15/.

c. Merni kanal ima veću snagu od standardnog, zbog razlike u koncentraciji atoma U235 u 2% obogaćenom gorivu. Sem toga merni kanal iz tehničkih razloga nema standardnu indikaciju temperature D₂O hladioca na ulazu i izlazu kanala, pa nema ni uslova za proračun snage kanala. Radi ~~korelisanja~~ podataka iz MK i SK formiran je kanal KK, na potpuno isti način kao MK, ali bez termoparova i uz postojanje mogućnosti merenja temperature hladioca.

Rezultati merenja za kanale iz prstena kanala u kome se nalaze i kanali sa 30% obogaćenim gorivom dati su na tabeli 5.3.

Tabela 5.3.

Pad temperature hladioca i snaga kanala

Kanal	pad temp. hladioca (°C)	snaga kanala (KW)
0603	11,5	52,9
0503	10,9	50,2
0404	11,8	54,3
0305	12,8	58,9
0306	13,0	59,9
0307 -KK	14,4	66,3
0408	13,3	61,2
0509 -MK	-	-
0609	11,8	54,3
0709	13,9	64,0
0808	12,1	55,7
0907	10,5	48,3
0906	-	- (neispravan termometar)
0905	11,4	52,5
0804	12,2	56,2
0703 -SK	12,7	58,5
srednje za sve TK	12,3	56,7

srednje za TK bez 80%	12,1	55,8
srednje za SK i KK	13,6	62,4

Disipacija rezultata iz tabele **5.3**. oko srednje vrednosti potiče od:

- blizine kontrolnih šipki i šupljina (vertikalnih kanala) za neke od kanala
- neravnomernog izgaranja po azimutalnoj koordinati
- grešaka u kalibraciji linija od termometara do merača
- Greška u kalibraciji merača ("Emura")
- nedovoljne osetljivosti "Emura"
- nejednakosti termometara
- nejednakosti kalibara za protok hladioca
- drugih razloga

Povećanjem snage na nominalnu snagu deo ovih odstupanja bi se smanjio na polovinu, pa bi rezultati bili svakako nešto ravnomerniji.

Medjutim, ipak se može doneti sledeći zaključak:

- Povećanje snage u standardnom kanalu SK nalazi se u granicama greške merenja pod datim uslovima, tj. nije veće od ranije procenjene vrednosti od 10% do 15%.
- Povećanje snage u kontrolnom kanalu KK iznosi oko 20%.
- Izmerene veličine se ipak (sasvim van granica greške) jasno razlikuju od snage u maksimalno opterećenom gorivu (centralnih 8 tehnoloških kanala) koja za date eksperimentalne uslove) iznosi 74 KW po kanalu.
- Prema gornjim navodima lokalni efekti u pogledu snage su definitivno manji od dopuštenih ne samo na snazi od 3,25 MW već i na snazi od 6,5 MW.

5.4. Merenje temperature košuljice gorivnih elemenata

U Ref /15/ opisana je konstrukcija izrade mernog kanala i prva iskustva sa ovim kanalom u reaktoru sa 80% obogaćenim

gorivom.

U Ref /14/ obradjene su merene vrednosti temperature košuljica novog goriva u mernom kanalu, i izvršena procena za nominalne uslove, tj. za uslove koji će vladati tokom eksperimentalne decembarske (1976) kampanje.

Procenjeno je da maksimalna temperatura ne može iznositi više od 90°C , te da prema tome reaktor može raditi na nominalnim radnim uslovima na siguran način.

5.5. Merenje porasta reaktivnosti usled unošenja kanala SK, MK i KK.

Izvršena je ponovna kalibracija kontrolnih šipki, uključujući šipku ST1, koja je u međuvremenu zamenjena novom. Dobijeni su slični rezultati kao u merenjima izvršenim februara 1976 sa izuzetkom šipke SK1, čiji se oblik kalibracione krive razlikuje od ostalih, najverovatnije zbog efekta izgaranja vrhova od kontrolnih šipki. Ovaj efekat će biti naknadno ispitan.

Kanali sa novim gorivom su ubacivani jedan po jedan, počev od kanala SK. Posle svakog ubacivanja meren je položaj kontrolnih šipki na nominalnoj snazi i pri gotovo istim temperaturama hladioca.

Dobijeni su sledeći rezultati:

Ugradjena reaktivnost kod unošenja kanala SK iznosi 2,0% od maksimalnog kapaciteta šipki regulacionog i kompenzacionog sistema.

Ugradnja kanala MK unela je 2,5%, i

ugradnja kanala KK unela je 2,6% tog kapaciteta

Pošto je margina (slobodan kapacitet sistema kontrolnih šipki za kompenzovanje pozitivnih skokova reaktivnosti) pre unošenja iznosila oko 80% kapaciteta kontrolnih šipki, to je ona posle unošenja sva tri kanala SK, MK i KK smanjena za samo oko 7,1%, tj. posle ugradnje sva tri kanala margina je iznosila oko 70%, što je svakako više nego dovoljno sa

aspekta sigurnosti.

Može se zaključiti da bi ugradnja 3 standardna kanala sa novim gorivom i jednog mernog kanala u decembarskoj eksperimentalnoj kampanji (za koju se traži odobrenje) bila oko 70%, tj. da je ugradnja ova 4 kanala u hladan **nežatrovan** reaktor RA sa uronjenim svim šipkama kompenzacionog i regulacionog sistema (bez šipki sigurnosnog sistema) bila apsolutno sigurna.

Rezultati ponovne kalibracije kontrolnih šipki prikazani su na sl. 9 u prilogu.

6. UPOREDJENJE OGRANIČENJA PARAMETARA ZA REAKTOR RA SA NOVIM GORIVOM SA VREDNOŠĆU TIH PARAMETARA U RADNIM USLOVIMA REAKTORA RA U DECEMBARSKOJ EKSPERIMENTALNOJ KAMPANJI

Na Tabeli 6. dati su podaci o primarnim ograničenjima najvažnijih parametara od interesa za sigurnost, sa vrednostima tih parametara pod radnim uslovima reaktora RA u eksperimentalnoj decembarskoj kampanji.

Vrednost tih parametara pod radnim uslovima u ovoj Tabeli su ili direktno očitane vrednosti na mernoj opremi reaktora RA, ili su to vrednosti do kojih se došlo serijom teorijskih i eksperimentalnih analiza, ukratko opisanih u ovom izveštaju, koje traju već 3 godine (teorijske analize), odnosno godinu dana za eksperimentalne analize.

Uporedjenje navedenih parametara jasno ukazuje da je decembarska kampanja potpuno sigurna, tj. da se ne prelazi ni jedan parametar opisan u tehničkim uslovima za 80% obogaćeno gorivo, kao ni jedan radni parametar reaktora RA sa 2% obogaćenim gorivom, koji je normalno postizan u dosadašnjem radu.

Prema tome nema nikakvih razloga da se decembarska kampanja ne obavi i da se tek posle nje odluči o daljoj sudbini prelaznog režima reaktora RA sa novim 80% obogaćenim gorivom.

TABELA 6.

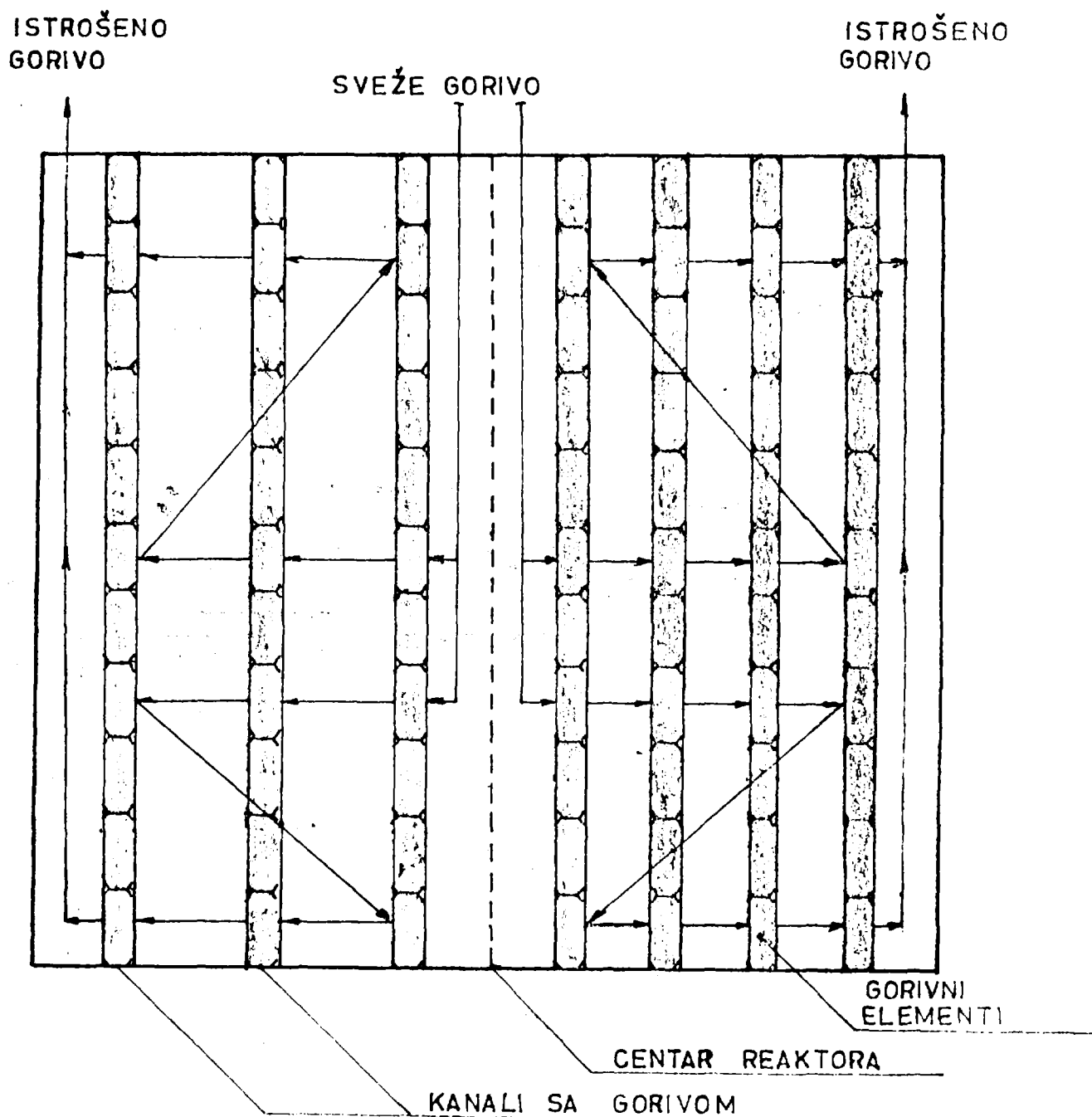
Uporedjenje ograničenja najvažnijih parametara sa 80% obogaćeno, gorivo sa vrednostima pod radnim uslovima u reaktoru RA u toku decembarske eksperimentalne kampanje na snazi od 6,5 MW.

Parametar	Ograničenje	Referenca	Radni uslovi u eksperimentalnoj kampanji obračunati za snagu od 6,5 MW
toplotna snaga po gorivnom elementu	20 KW	/4/	manje od 15 KW
temperatura košuljice gorivnog elementa	127°C	/12/	manje od 90°C
ugradjena reaktivnost i preostala margina	50%	/uslovno/	manje od 10%
maksimalna ulazna temperatura hladioca u kanal	40°C	/4/	manje od 20°C
maksimalna izlazna temperatura hladioca iz kanala	67°C	/4/	manje od 50°C
maksimalni pritisak u napornoj komori	2,2 ati	/4/	manje od 2,2 ati
maksimalni pritisak hladioca na izlazu iz reaktora	0,2 ati	/4/	manje od 0 2 ati
nominalna snaga reaktora	6,5 MW	/usvojeno/	5,9 MW
uticaj na susedno 2% obogaćene gorivne elemente	dosadašnji parametri za 2% obogaćeno gorivo	/dosadašnji siguran rad reaktora RA/	zanemarljivo

7. ZAKLJUČAK

1. Priloženi materijal predstavlja značajan deo sigurnosnih analiza izvršenih za prelazni režim reaktora sa 80% obogaćenim disperzionim gorivom. Nedostaje još obrada podataka iz eksperimentalne kampanje predviđene za decembar 1976. i eventualno za januar 1977. godine i izrada konačnog predloga za prvi deo prelaznog režima u trajanju od 6 normalnih kampanji u toku 1977. godine.
2. Što se tiče uslova za decembarsku kampanju oni su potpuno sigurni i to u odnosu na primarna ograničenja za 80% obogaćeno gorivo data od proizvođača, kao i u odnosu na postojeće 2% obogaćeno gorivo u odnosu na rutinski primenjivane i od Komiteta za sigurnost odobrene radne parametre reaktora, pod kojima radi već godinama sa veoma velikim stepenom sigurnosti.

ŠEMATSKI PRIKAZ DVA OSNOVNA NAČINA
CIRKULACIJE GORIVA U REAKTORU RA

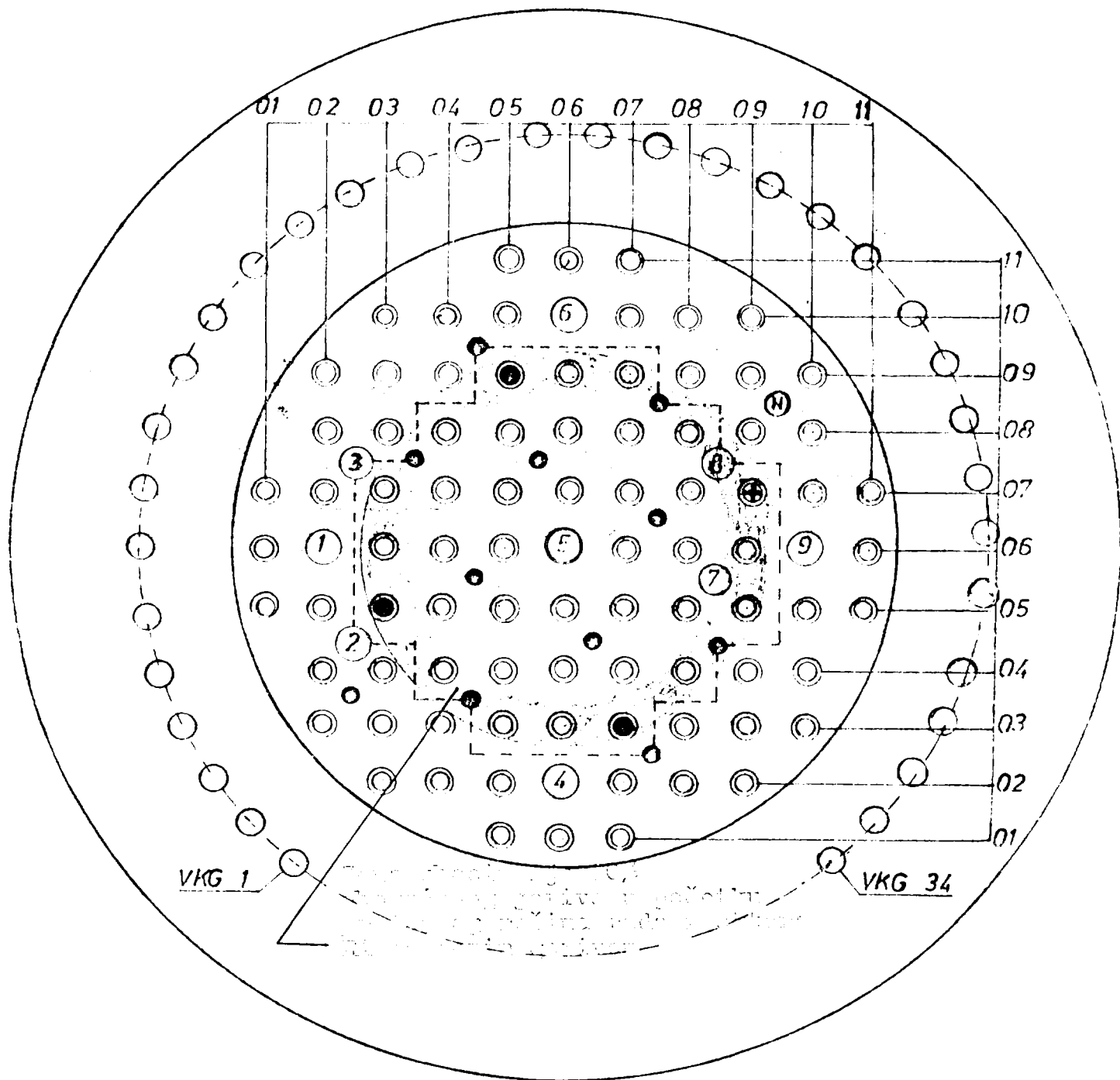


SL. 1

Содержит сведения о состоянии здоровья и о состоянии
 органов чувств, о состоянии нервной системы.

Полученные данные о состоянии здоровья и о состоянии
 органов чувств, о состоянии нервной системы.

- ⊙ - Точка зрения (в центре) (в центре) (в центре)
- ⊙ - Точка зрения (в центре) (в центре) (в центре) (в центре) (в центре)
- ⊙ - Точка зрения (в центре) (в центре) (в центре) (в центре) (в центре)
- - Контроль зрения
- - Граница зрения (в центре) (в центре) (в центре) (в центре) (в центре)

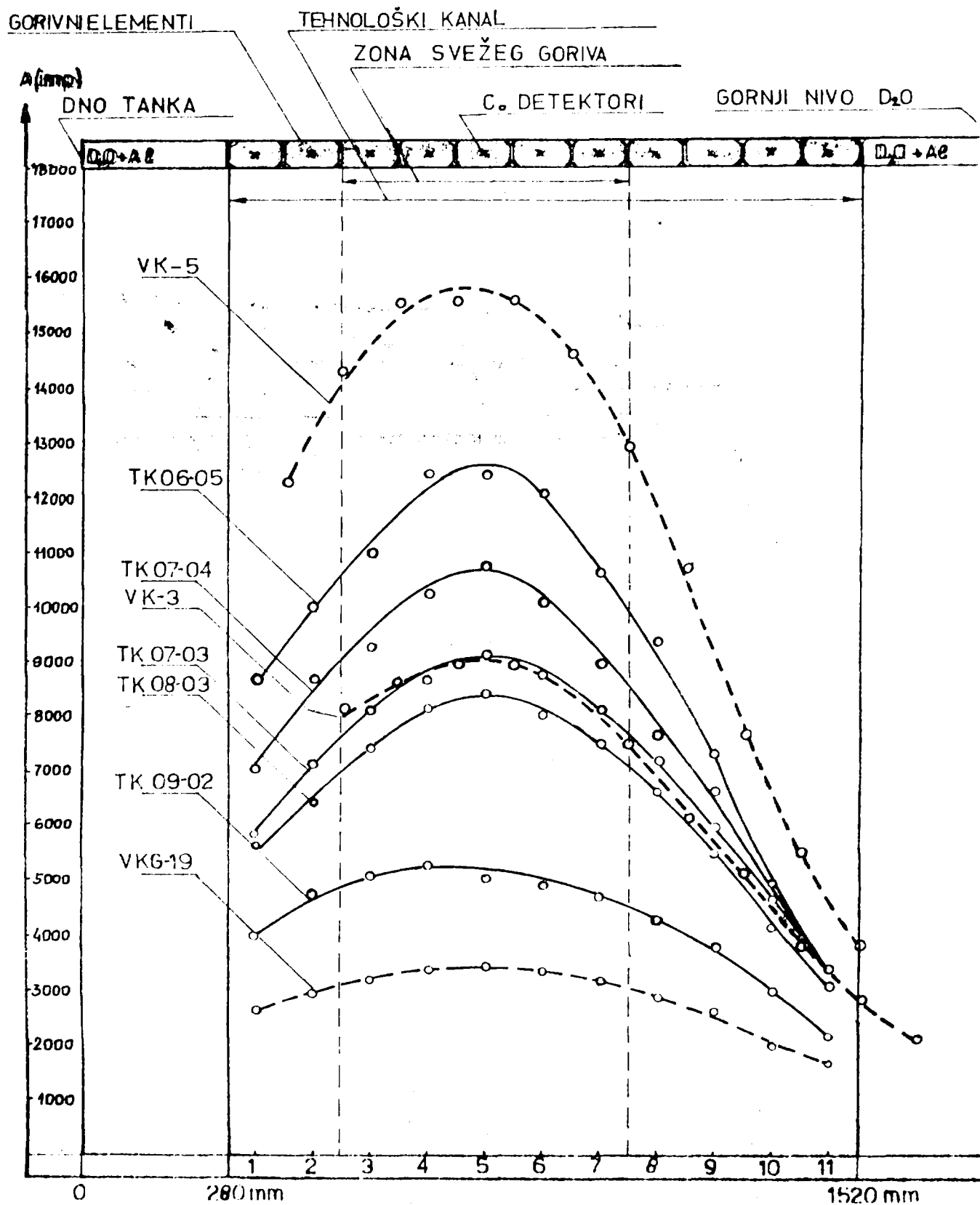


SL. 5

POOR COPY ORIGINAL

RASPODELA GUSTINE NEUTRONA U EKSPERIMENTALNIM I TEHNOLOŠKIM KANALIMA

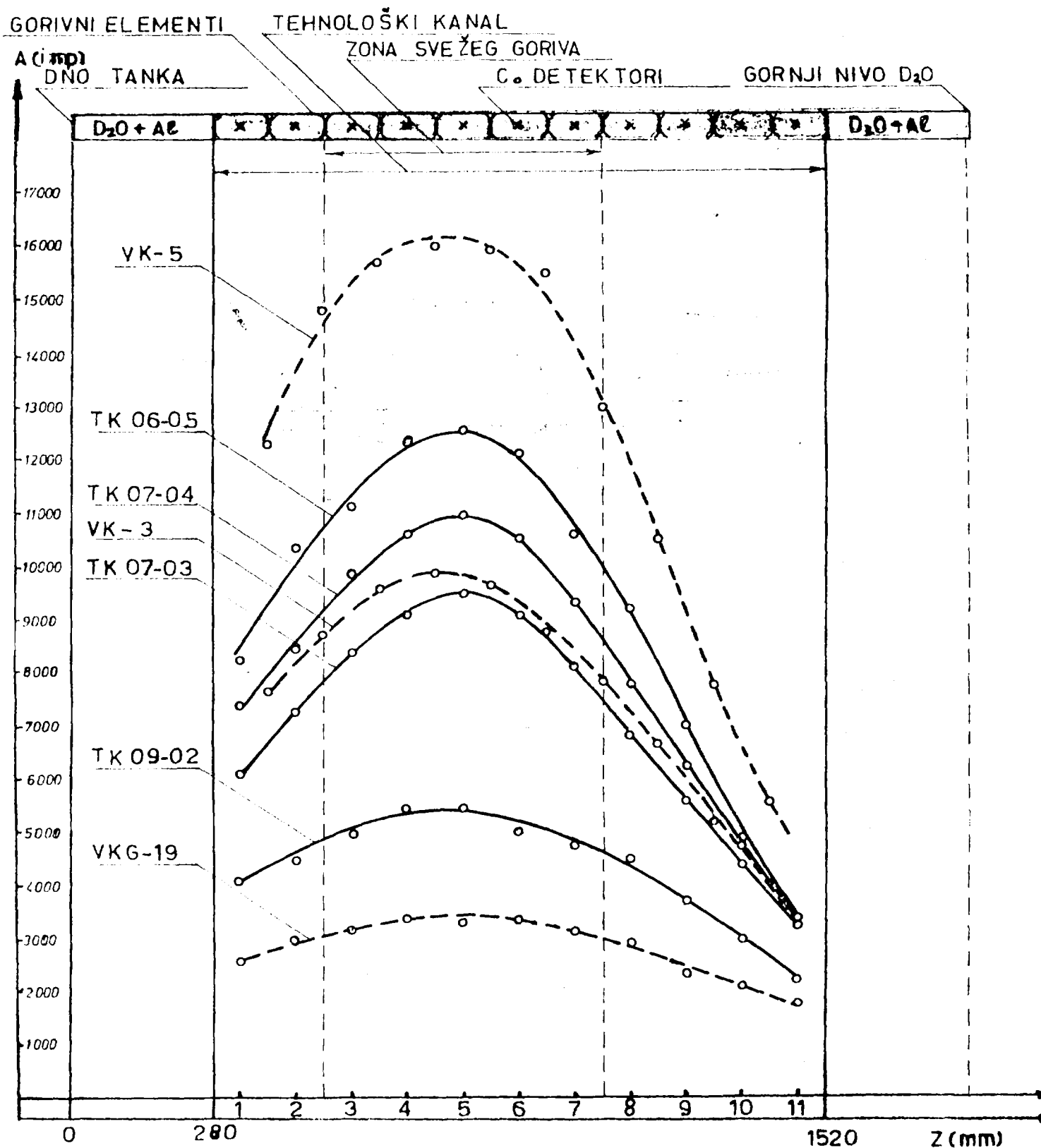
KONFIGURACIJA JEZGRA № 1: REFERENTNO JEZGRO



RASPODELA GUSTINE NEUTRONA U EKSPERIMENTALNIM I TEHNOLOŠKIM KANALI

KONFIGURACIJA JEZGRA № 2:

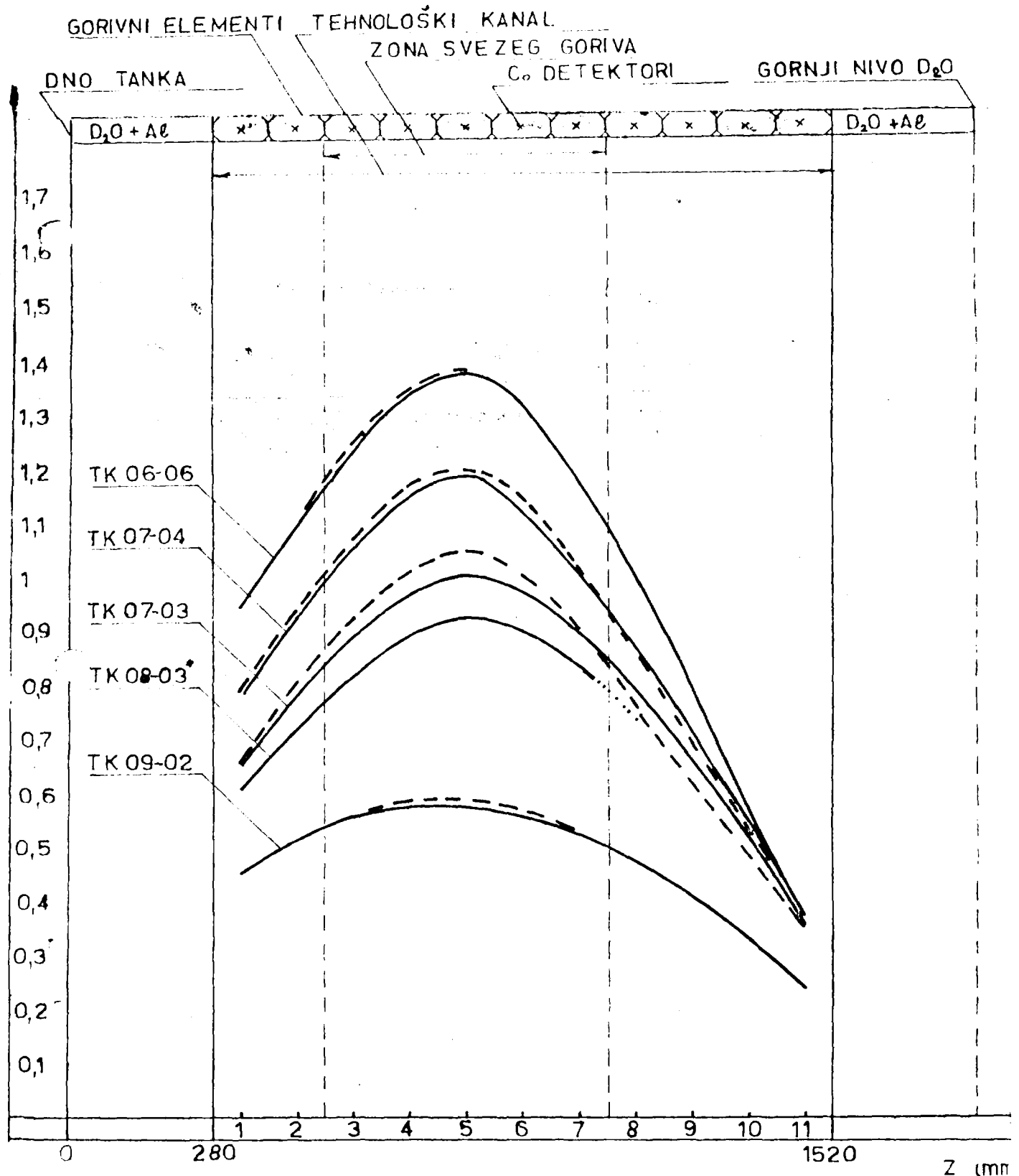
JEZGRO PERTURBOVANO 80% OBOGAĆENIM GORIVOM



RELATIVNA PROSTORNA RASPODELA GUSTINE NEUTRONA U REFERENTNOM I
PERTURBOVANOM JEZGRU REAKTORA RA
(normalizovano na TK 07-03 u referentnom jezgru)

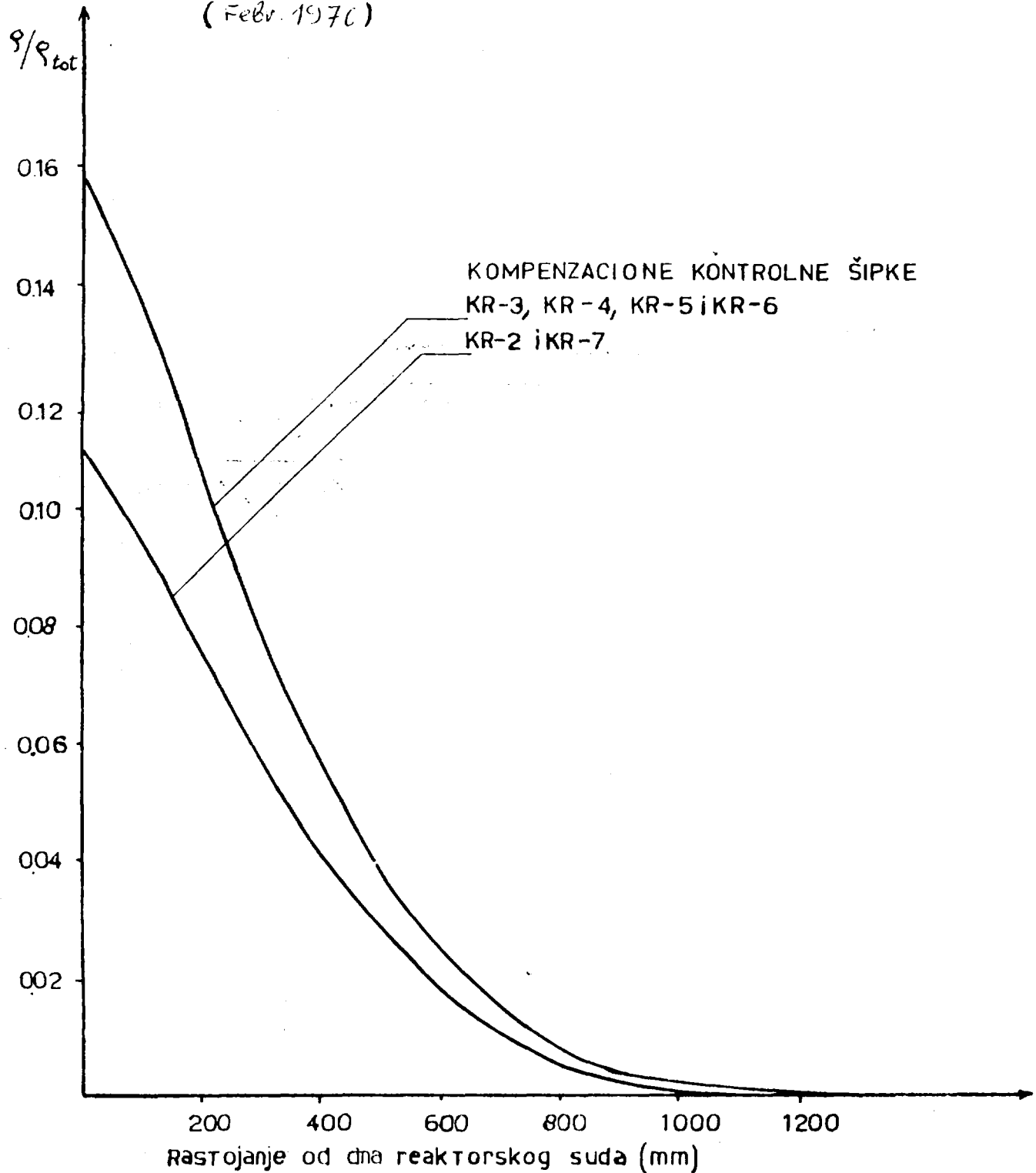
— REFERENTNO JEZGRO
- - - PERTURBOVANO JEZGRO

* MERENJE U TK 08-03 U PERTURBOVANOM JEZGRU NIJE IZVRŠENO



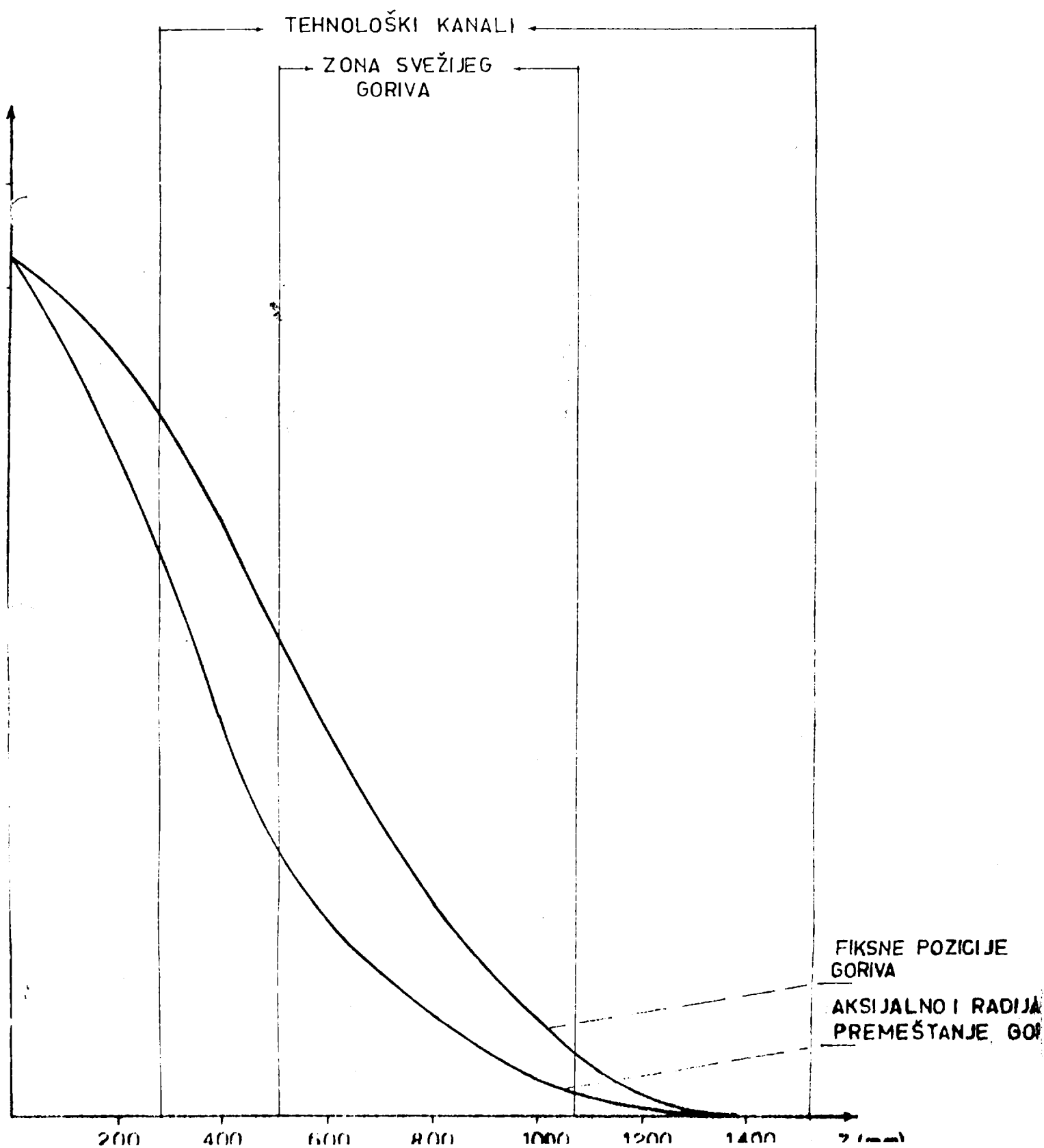
RELATIVNA EFIKASNOST ŠIPKI KOMPENZACIONOG SISTEMA
(U odnosu na ukupnu efikasnost šipki regulacionog
i kompenzacionog sistema)

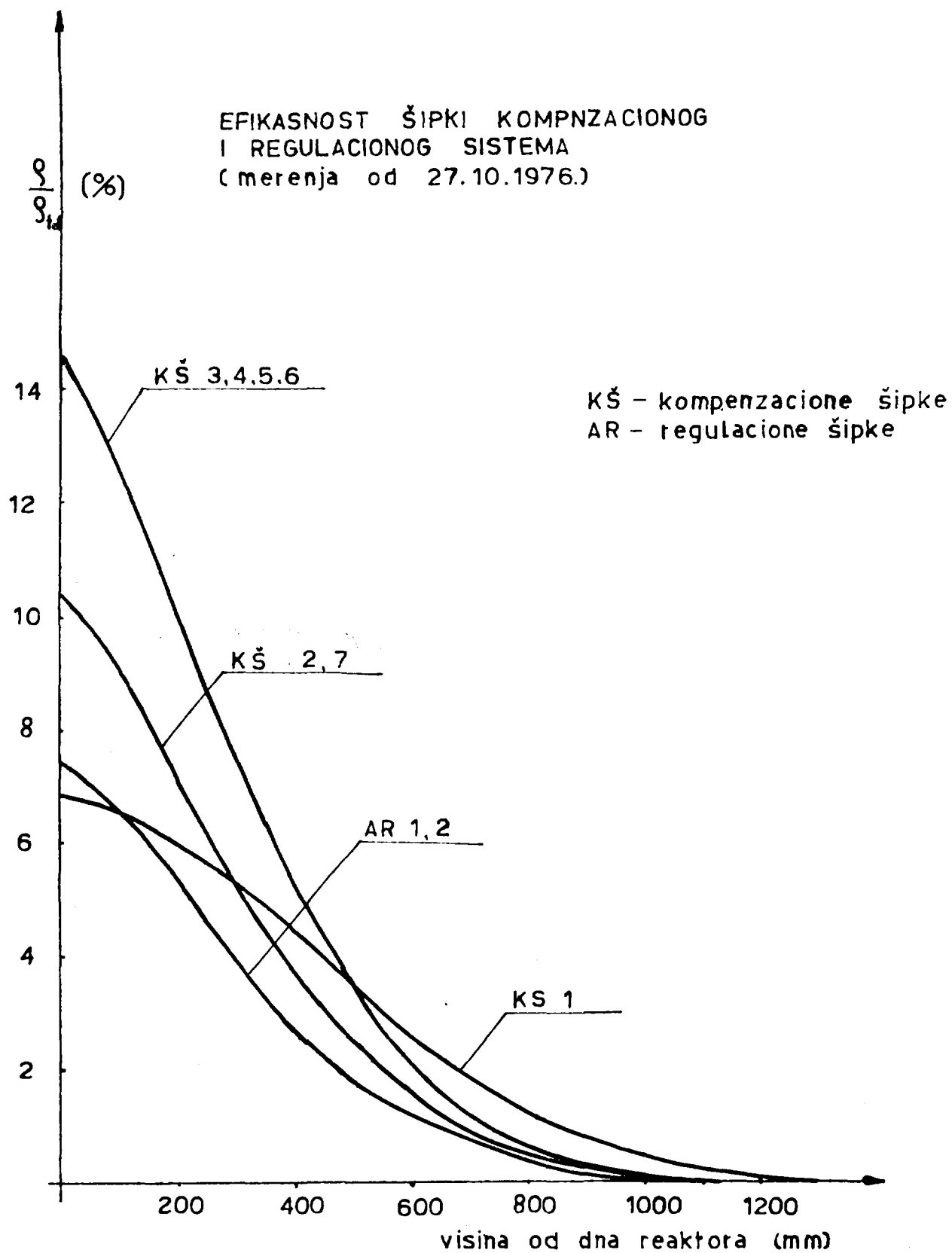
REAKTOR RA U RAVNOTEŽNOM REŽIMU IZGARANJA SA
AKSIJALNIM I RADIJALNIM PREMEŠTANJEM GORIVA
(Febr. 1976)



SL 8a

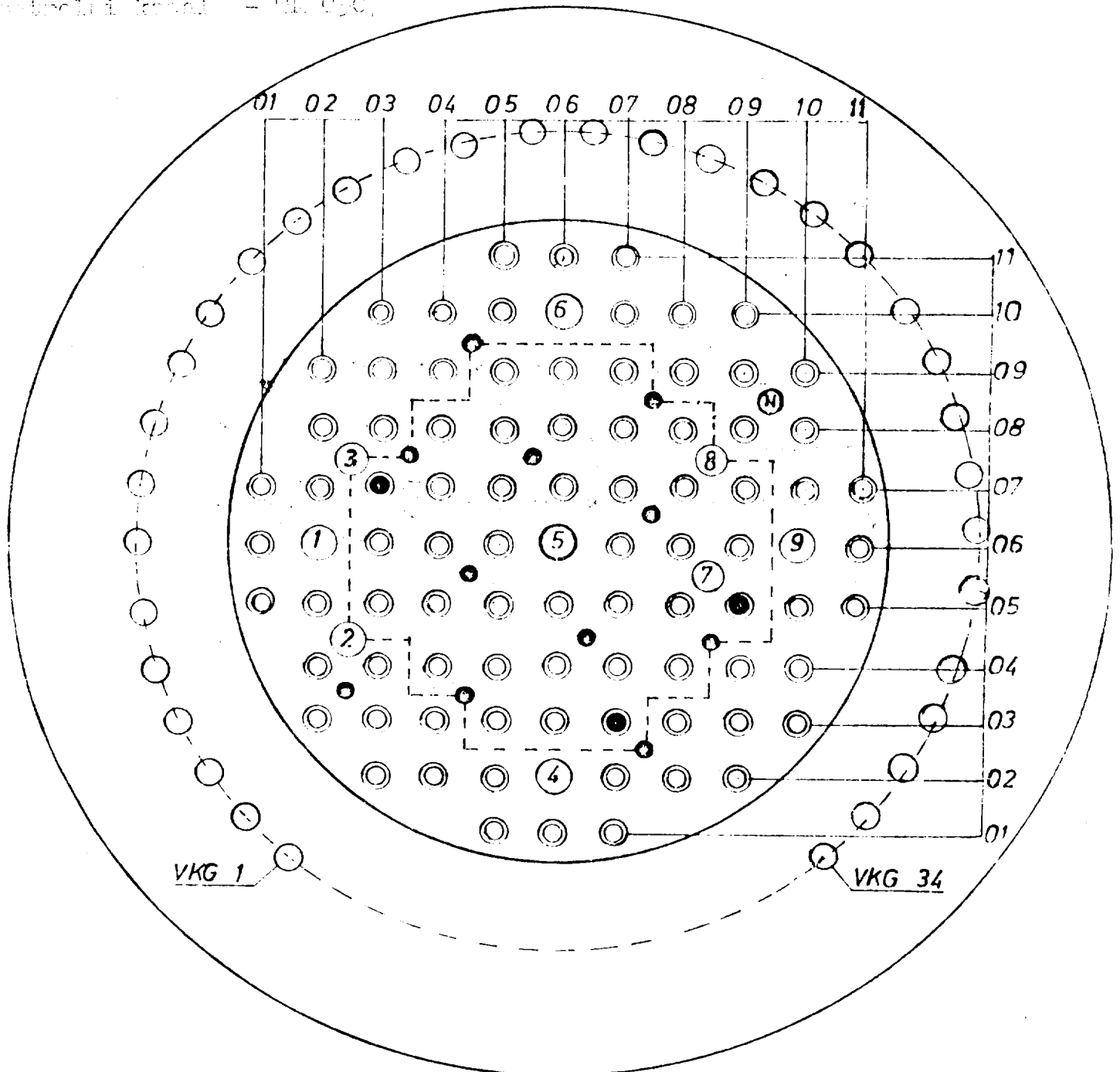
UPOREĐENJE EFIKASNOSTI KONTROLNE ŠIPKE AR-1 URONJENE
U JEZGRO RA SA RAZLIČITIM RAVNOTEŽNIM REŽIMOM IZGARANJA





POSREDOVANJE, REGULACIJA, KONTROLA I KONTROLNOST
 KANALA SA 10% OBOGAĆENIM GORIVOM ZA
 VNENJE EKSPERIMENTALNA U TOKU OBTOKA 1976.

Standardni kanal - TK 0703
 Plovi kanal - TK 0704
 Kontrolni kanal - TK 0705



- ⊙ - Tehnološki kanal sa 10% obogaćenim gorivom
- ⊙ - Tehnološki kanal sa 10% obogaćenim gorivom (po 5 elementa)
- ⊙ - Vertikalni disperzionalni kanali
- - Šipke kompenzacionog regulacionog i sigurnosnog sistema
- Granica zone najvećih i manjih protoka hladnoće



IZVEŠTAJ O REZULTATIMA POSETE STRUČNJAKA IZ IBK INSTITUTU ZA TEORIJSKU I EKSPERIMENTALNU FIZIKU U MOSKVI R.Martinc, M.Petrović, S.Cupać	IBK -	RA ID -
	Datum 11.1976.	Broj strana

Distribucija
M.Petrović 2x
P.Strugar
M.Milošević
Z.Zarić
R.Martinc 2x
S.Cupać 2x
Zavod za međju-
narod.saradnju 2x
SRS
Arhiva RA 12
A.Borojević
B.Dokić
I.Vozab
S.Kozomara
J.Radivojević
RZNS 5x

Distribucija lista
za ovaj izveštaj je
ograničena.

Delovi ovog izveštaja
ne mogu biti publiko-
vani, citirani ili ko-
rišćeni na drugi način
bez odobrenja IBK-00UR
Odeljenje nuklearnog
reaktora RA!

Abstract
Grupa od tri saradnika IBK boravila je
u Institutu za teorijsku i eksperiment-
alnu fiziku u Moskvi u vremenu od
17.X. do 23.X.1976. godine.

Cilj posete je bio:

- Upoznavanje eksploatacionih karakte-
ristika reaktora TVRS sa 80% oboga-
ćenim gorivom, kao i iskustva u ve-
zi sa korišćenjem tog goriva u reak-
toru TVRS u Moskvi.
- Upoznavanje sa elementima sigurnosnih
analiza u vezi sa uvođenjem i koriš-
ćenjem tog goriva u reaktoru TVRS kao i
- Razmena gledišta o programu prevodje-
nja reaktora RA na novo 80% obogaćeno
gorivo.

U izveštaju su prikazani rezultati ove
posete. Osnovni zaključci do kojih se
došlo jesu:

- Poseta je bila korisna i pored toga
što na neka pitanja nije dobijen od-
govor.
- Posle obrade dobijenih informacija;
posle sticanja prvih iskustava o ko-
rišćenju novog goriva u reaktoru RA
kao i posle donošenja definitivnog
suda o ravnotežnom režimu reaktora
RA sa novim gorivom, bilo bi veoma
korisno da se izvrši još jedna po-
seta Institutu u Moskvi.
- Novo disperziono gorivo je mnogo pouz-
danije u eksploataciji od starog 2%
obogaćenog metalnog goriva (kakvo je
sada u reaktoru RA).
- Nije bilo primedbi sa aspekta sigurno-
sti na naš program prevodjenja (pre-
lazni režim) reaktora RA na novo go-
rivo.
- Zatražiće se dopunske informacije o
maksimalnom dopustivom stepenu izgara-
nja 80% obogaćenog disperzionog gori-
va i po potrebi izvršiće se blagovre-
mena revizija predviđenog optimalnog
ravnotežnog režima izgaranja, za reak-
tor RA (baziranog na maksimalnom iz-
garanju goriva koje omogućuju paramet-
ri reaktora RA).
- Metodologija termičkog proračuna goriv-
nih kanala, koja se primenjuje na reak-
tor RA, ocenjena je kao ekvivalentna
postupku koji se primenjuje za proračun
kanala reaktora TVRS u Moskvi.

I Z V E Š T A J

O rezultatima posete grupe stručnjaka iz Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča Institutu za teorijsku i eksperimentalnu fiziku u Moskvi.

1. UVODNE NAPOMENE

Ova poseta planirana je novembra 1975. godine u vezi sa predstojećom nabavkom novog 80% obogaćenog uranskog goriva iz SSSR i njegovim korišćenjem u istraživačkom reaktoru RA u Vinči. Ovakva poseta ocenjena je kao veoma korisna i od strane Predsednika Saveznog komiteta za međunarodnu naučnu, kulturnu i tehničku saradnju SSSR sa istočnim zemljama, druga V. Konjuška prilikom njegove posete IBK novembra 1975. godine i on je u tom smislu obećao da će u slučaju potrebe dati svoju podršku da se ta poseta što uspešnije organizuje.

Saglasnost za ovu posetu zatražena je zvaničnim kanalima SFRJ i SSSR početkom januara 1976. godine. Tada zatraženi termin za ovu posetu bio je mart 1976. godine, ali je konačno odobrenje stiglo tek za 17. oktobar 1976. godine. Poseta je obavljena od 18 do 23. oktobra 1976. godine.

2. CILJ POSETE

Cilj posete sadržan je u dve osnovne teme koje su prijavljene prilikom zakazivanja posete, i to:

- a. Upoznavanje sa eksploatacionim karakteristikama reaktora TVRS u Moskvi, koji koristi gorivo sa 80% obogaćenim uranom, kao i sa karakteristikama ovog goriva u radnim uslovima.
- b. Razmena mišljenja u vezi sa programom prevodjenja reaktora RA u Vinči na 80% obogaćeno gorivo sovjetskog porekla.

3. SASTAV GRUPE STRUČNJAKA IZ IBK KOJA JE OBAVILA POSETU

Mg Radovan Martinc, načelnik reaktora RA,
Dipl. fizičar Stevan Cupać, inženjer za sigurnost RA
Dr Miodrag Petrović, načelnik Laboratorije za informatiku IBK
i Predsednik Komiteta za sigurnost IBK.

Razlozi zbog kojih je OOUR 180 odlučio da zamoli Dr M.Petrovića za učešće u radu ove grupe bili su sledeći:

- a. Dr M. Petrović bio je prvi načelnik reaktora RA, u čijoj je izgradnji, montaži, puštanju u pogon i prelasku na normalnu eksploataciju aktivno učestvovao, pa je prema tome dobar poznavalac ove mašine.
- b. Dr M.Petrović je sada Predsednik Komiteta za sigurnost IBK, od koga će se konačno zatražiti odobrenje za prelazak na korišćenje novog goriva u reaktoru RA, pa je i sa te tačke gledišta bilo povoljno da se on bliže upozna sa okolnostima vezanim za prevodjenje reaktora RA na novo gorivo i eksploataciju ovog goriva u normalnim radnim uslovima.

4. METOD RADA

- 4.1. Zbog odlaganja termina posete i plana rada reaktora RA nije mogao biti iskorišćen ukupno odobreni boravak od 52 čovek dana (4 čoveka po 14 dana). Medjutim, sovjetska strana se saglasila da se rad grupe odvija u okviru dve posete od po 7 dana. Do druge posete će doći posle sticanja prvih iskustava u početnom delu prelaznog režima, kao i posle izrade optimalizacionih analiza za reaktor RA u ravnotežnom režimu izgaranja. Sem toga druga poseta će biti vezana i za analizu rezultata do kojih će doći sovjetska strana u oblastima u kojima će nam pružiti aktivnu pomoć (ova pomoć isključivo se odnosi na određene teorijske proračune koje će obaviti sovjetski stručnjaci u Institutu u Moskvi, a koji će eventualno biti korišćeni kod izrade konačnog izveštaja za sigurnost za reaktor RA sa novim gorivom u ravnotežnom režimu izgaranja).

4.2. Mesec dana pre realizacije same posete poslata je sa naše strane okvirna specifikacija tema a. i b. iz tačke 2. ovog izveštaja. Ovo je učinjeno radi omogućavanja većeg stepena pripremljenosti razgovora izmedju naših i sovjetskih stručnjaka, što se kasnije pokazalo veoma korisnim.

Teme su specificirane na sledeći način:

Tema a.:

1. Parametri koji karakterišu prenos toplote u gorivnom kanalu. Oslobađanje toplote posle zaustavljanja reaktora. Temperatura u gorivu posle akcidentalnog gubitka hladioca. Uporedjenje ovih podataka za reaktor sa 2% i 80% obogaćenim gorivom.
2. Aktivnost izotopa (proizvoda fisije) u gorivu. Procenat oslobađanja ovih izotopa iz gorivnih elemenata pri raznim akcidentalnim uslovima. Uporedjenje ovih podataka za 2% i 80% obogaćeno gorivo.
3. Promena maksimalnog fluksa termalnih neutrona (pri nominalnoj snazi) posle "nultog" eksperimenta. Spektri neutrona u reaktoru. Parametri rešetke i temperaturni koeficijent reaktivnosti u zavisnosti od dubine izgaranja.
4. Efektivnost sistema kontrolnih šipki. Povećanje reaktivnosti kod izmene goriva. Porast snage reaktora pri nekontrolisanom povećanju reaktivnosti. Uporedjenje ovih podataka za 2% i 80% obogaćeno gorivo.

Tema b.:

1. Prednost parcijalnog uvođenja 80% obogaćenog goriva u reaktor RA u Vinči, u odnosu na istovremenu zamenu celokupne količine 2% obogaćenog poluizgorelog goriva svežim 80% obogaćenim gorivom, sa aspekta sigurnosti i ekonomičnosti.
2. Izbor optimalnog prelaznog režima reaktora RA pri parcijalnom uvođenju 80% obogaćenog goriva.
3. Razmena mišljenja o mogućnosti **izgradnje** sistema za hladjenje goriva pri akcidentalnom gubitku hladioca.
4. Iskorišćenje 80% obogaćenog goriva u ulozi konvertora za brze neutrone u reaktoru RA.

Napomena:

- Podrazumevalo se da u okviru teme a. najznačajnije direktno sovjetsko iskustvo u korišćenju 80% obogaćenog goriva, kao i da ćemo sa njim biti upoznati od strane sovjetskih kolega na način koji sami odaberu,
 - Pitanje 4. iz teme b. nema veze sa osnovnim ciljem posete, ali je ono nabačeno budući da se radi o jednoj veoma korisnoj mogućnosti iskorišćenja novog goriva van aktivne zone reaktora RA.
- 4.3. Do prve posete naših stručnjaka Institutu u Moskvi došlo je u ponedeljak 18.X.1976. godine. Tada je iznet njihov stav kako da se predstojeći posao obavi što efikasnije. Ovaj stav svodio se na sledeće:
- Domaćini naše grupe i koordinatori u odnosu na ostale sovjetske stručnjake bili bi stručnjaci iz pogona reaktora TVRS, i to:
- Kirilin, načelnik reaktora TVRS
Balan, načelnik službe SUZ reaktora TVRS
Djadin, zamenik načelnika reaktora TVRS
Gerasimov, načelnik operatora TVRS.
- Ovi pogonski stručnjaci dali bi odgovore na neka pitanja, pre svega na pitanje 3. (delimično), 1. (delimično) i 4. (delimično), iz teme a., kao i pitanja iz tačke 3. iz teme b. Sem toga oni bi odgovorili na većinu pitanja iz teme a., onako kako je definisana u tački 1. ovog izveštaja.
- Za pitanja koja izlaze iz njihovog domena oni bi pozivali druge stručnjake iz istog Instituta.
- Ovakav način rada prihvaćen je sa naše strane.

5. POSTIGNUTI REZULTATI

5.1. Eksploatacione karakteristike reaktora TVRS u Moskvi sa 80% obogaćenim gorivom

Informacije po ovom pitanju dali su sovjetski stručnjaci iz tačke 4.3. Ove informacije dobijene su na jedan od sledećih načina:

- a. Na osnovu razgovora izmedju sovjetskih i naših stručnjaka
- b. Na osnovu detaljnog izlaganja načelnika Kirilina o iskustvu u korišćenju novog goriva, kao i dopunskog izlaganja i pokazivanja one reaktorske opreme za koju smo pokazali interes od strane njegovog pomoćnika Džadina i
- c. Na osnovu stavljanja na uvid sledećih pisanih materijala:
 - Proračun optimalne konfiguracije reaktora TVRS (na ruskom) Interna dokumentacija Instituta u Moskvi, 1962.
 - Kritični eksperiment na reaktoru TVRS sa 80% obogaćenim gorivom (na ruskom). Interna dokumentacija Instituta u Moskvi, 1964.
 - Analiza slučajeva akcidentalne destrukcije pojedinih gorivnih elemenata reaktora TVRS (na ruskom). Interna dokumentacija Instituta u Moskvi, 1976.

Sva ova tri dokumenta nisu (interne) publikacije, tj. nemaju karakter objavljenih radova, već su to dokumenti internog karaktera u osnovnom smislu reči.

Članovi naše grupe, prema tome nisu ni mogli da dobiju reprinte ovih dokumenata, ali su ih za vreme boravka u Institutu u Moskvi dobili na uvid, tj. mogli su da ih pročitaju i naprave za beleške najinteresantnijih informacija iz njih, što je u okviru relativno veoma kratkog vremena i učinjeno.

Što se tiče publikacija sa informacijama o reaktoru TVRS u Moskvi sa 80% obogaćenim uranskim gorivom upućeni smo na "Directory" o istraživačkim reaktorima, objavljen od strane IAEA u Beču, odnosno materijale sa Ženevske konferencije o mirnodopskoj primeni atomske energije.

Na osnovu svih ovih vidova informisanja dobijeni su sledeći podaci i stečeni sledeći utisci o prelasku reaktora TVRS u Moskvi sa starog 2% obogaćenog na novo 80% obogaćeno gorivo, kao i o eksploataciji tog goriva od 1964. godine do sada:

5.1.1. Sigurnosne analize

Nije radjen kompletan izveštaj o sigurnosti prilikom prevođenja reaktora TVRS na novo 80% obogaćeno gorivo, jer je ono sigurnije od starog 2% obogaćenog goriva i jer su specifična opterećenja goriva mnogo manja od primarnih ograničenja u tom pogledu.

Tako na pr., prema njihovoj izjavi, nije radjen novi hidraulični i termički proračun gorivnog kanala, jer se snaga reaktora nije izmenila, kao ni osnovne komponente reaktorskih sistema i geometrija samog goriva.

Prema njihovoj izjavi nije radjen ni proračun temperature goriva u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca. Ovaj proračun nije vršen zbog veoma složenih graničnih uslova, koji o emogućavaju dobijanje dovoljno pouzdanih vrednosti, kao i zbog činjenice da je u međuvremenu izgradjen jednostavan sistem za hlađenje u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca, na bazi uključivanja obične vode u sistem cirkulacije D₂O hladioca.

Znatno veća pažnja posvećena je analizi uzroka oštećenja gorivnih elemenata u reaktoru TVRS.

Ograničenih akidenata ovog tipa bilo je srazmerno znatno više na elementima sa 2% obogaćenim gorivom nego na elementima sa 80% obogaćenim gorivom.

Načelnik Kirilin izvestio nas je o 4 slučaja prskanja elemenata sa 2% obogaćenim metalnim gorivom i dva slučaja sa 80% obogaćenim disperzionim gorivom. Budući da je rad reaktora sa 2% obogaćenim gorivom bio oko 2 puta manji (oko 6 godina rada) od rada reaktora sa 80% obogaćenim gorivom (oko 12 godina rada), to je učestanost defekata elemenata sa 2% obogaćenim gorivom bila oko 4 puta veća nego sa 80% obogaćenim gorivom.

Izvršili smo uporedjenje ovih podataka za reaktore RA u Vitebsku i TVRS u Moskvi. Učestanost defekata sa elementima reaktora RA

sa 2% obogaćenim gorivom je oko 4 puta manja od one koja karakteriše reaktor TVRS sa obe vrste goriva. Ova učestalost je čak blizu 20 manja kada se uporedi sa podacima za reaktor TVRS samo sa 2% obogaćenim gorivom, tj. sa istom rodnom gorivom, što i treba uporedjivati. Za analizu uzroka ovih defekata potrebno je upoznati podatke o radnom režimu reaktora.

Reaktor TVRS radi oko 5 dana u nedelji. Subotom i nedeljom reaktor ne radi i to se koristi za hladjenje reaktora, za remontne radove, kao i po potrebi za zamenu goriva. Sem toga reaktor se svakodnevno zaustavlja za oko 2 časa, radi vadjenja i stavljanja uzoraka za ozračivanje.

Do 1964. godine, tj. tokom korišćenja 2% obogaćenog goriva, gorivni kanali imali su fluksne pozicije u reaktoru. Posle završetka prelaznog režima sa novim 80% obogaćenim gorivom, kanali su premešteni prilikom izmene goriva iz centra na periferiji aktivne zone, a u cilju uštede goriva. Kasnije je ovaj postupak napušten i kanali su ponovo ostajali u fiksnim pozicijama.

Decembra 1968. godine zapaženo je naglo i veliko povećanje aktivnosti gasa i temperature u nekim gorivnim kanalima. Ispitivanjem gasa iz svih pojedinačnih gorivnih kanala definitivno su locirani kanali u kojima su se nalazili defektni gorivni elementi. Radilo se o gorivu u dva kanala sa izgaranjem od oko 56% i vremenom boravka u reaktoru od preko 4 godine. U poredjenju sa sličnim akcidentima na elementima sa metalnim 2% obogaćenim gorivom, aktivnost gasa je bila mnogo manja. Defektni elementi snimljeni su u vrućim komorama. Oštećenje (elementi su vidljivo nabubрили) je bilo sa unutrašnje strane elementa. Ovi elementi bili su u kanalima koji su premešteni iz centra na periferiju aktivne zone i to sredinom 1966. godine.

Koristi se još dva slučaja "procurivanja" gorivnih elemenata, ali sa neuporedivo manjom aktivnošću gasa i bez bubrenja koje bi izazvalo porast temperature u kanalu. Izgaranje ovih elemenata bilo je 41 i 45%. Ovi elementi su iz predostrožnosti uklonjeni iz reaktora. Kao potencijalni razlozi za ove akcidente navedeni su: često startovanje i zaustavljanje reaktora, nedovoljno hladjenje goriva u reaktoru pre njegovog vadjenja radi premeštanja na periferiju kod izmene goriva, znatna dubina izgaranja goriva i dr. I ovde je interesantno uporedjenje odgovarajućih podataka za reaktore TVRS u Moskvi i RA u Vlači, pa smo ih u razgovorima i naveli. Na reaktoru RA se postiže veće izgaranje 2% obogaćenog goriva nego što je to bio slučaj sa reaktorom TVRS sa 2% obogaćenim gorivom. Godišnji broj pokretanja i zaustavljanja reaktora RA je za oko 20 puta manji nego što je to slučaj sa reaktorom TVRS. Gorivo reaktora RA se hladi 5 do 7 dana u reaktoru pre nego što se vadi radi premeštanja, što je 5 do 7 puta duži period hladjenja goriva nego kod reaktora TVRS. Gorivo reaktora TVRS (u vreme kada su kanali premešteni) imalo je dve pozicije u aktivnoj zoni dok elementi reaktora RA menjaju 6 do 8 pozicija za vreme svog boravka u reaktoru.

5.1.2. Nalaženje optimalne konfiguracije jezgra za prelazni režim

Predviđeno je uklanjanje svog 2% obogaćenog goriva i formiranje novog jezgra isključivo od 80% obogaćenog goriva.

Proračun optimalne konfiguracije ovog jezgra izvršen je 1962. godine i to sa tri konfiguracije jezgra (centralnom, srednjom i perifernom) i sa 9 do 11 elemenata po kanalu. Tražena je minimalna količina goriva za jezgro sa maksimalnim fluksom pri datoj snazi reaktora. Nadjeno je da ovom kriterijumu optimalizacije odgovara periferna konfiguracija sa 52 kanala, sa po 9 elemenata po kanalu.

U toku kritičnih eksperimenata proračuni su potvrđeni i

formirano je početno jezgro sa 52 kanala u perifernoj konfiguraciji i 9 elemenata po kanalu. Reaktor je počeo sa radom na nominalnoj snazi od 2,5 MW marta 1964. godine, da bi prešao na punu konfiguraciju jezgra od 64 kanala (sa po 9 elemenata po kanalu) juna 1966. godine.

Na naša pitanja sovjetski stručnjaci su odgovorili da nije vršena bilo kakva teorijske ili eksperimentalna optimizacija za jezgro u ravnotežnom izgaranju, niti je vršen proračun parametara rešetke u funkciji izgaranja.

I početno jezgro i ravnotežno jezgro sa punom konfiguracijom opterećeno je istom nominalnom snagom od 2,5 MW. Maksimalno opterećeni gorivni element u početnom jezgru radio je sa snagom od oko 10 KW, dok je maksimalno opterećeni element u jezgru sa punom konfiguracijom bio opterećen sa oko 8 KW. Oba ova opterećenja su daleko manja od maksimalno dopuštenog opterećenja u nominalnom režimu rada od oko 20 KW/el. Ovakav postupak ne bi bio moguć za reaktor RA sa nominalnom snagom od 6,5 MW i 52 kanala sa po 9 elemenata, jer bi tada maksimalno opterećenje gorivnog elementa iznosilo oko 27 KW, tj. bilo bi za oko 35% veće od maksimalno dopuštenog opterećenja.

5.1.3. Eksperimentalni i drugi tehnički podaci za reaktor TVRS sa novim gorivom.

Izmeren je ukupni temperaturski koeficijent za sistem TVRS sa 80% obogaćenim gorivom od $-30 \text{ pcm}/^{\circ}\text{C}$, dok je za reaktor RA sa 2% obogaćenim gorivom ovaj koeficijent: $-40 \text{ pcm}/^{\circ}\text{C}$.

Razlika verovatno pretežno potiče od odsustva U 238 u 80% obogaćenom gorivu, zbog čega nema negativnog efekta na reaktivnost koja potiče od Dopplerovog širenja rezonantnih apsorpcija u U 238.

Efikasnost sistema kompenzacionih šipki se nije bitno izmenilo u odnosu na reaktor TVRS sa 2% obogaćenim ~~gorivom~~ ^{gorivom}. Efikasnost centralnih šipki je neznatno smanjena, a perifernih neznatno povećana. Na merenje efikasnosti kontrolnih šipki

primenjen je metod stabilne reaktorske periode, ali je korišćen i "rod drop" metoda. U kompenzacionom sistemu ima 6 šipki: 4 centralne i dve periferijske.

Gubici D_2O iz sistema su oko 25 kg. godišnje.

Degradacija izotopnog sastava D_2O iznosi oko 1% na 20 godina. Izotopni sastav se ne obnavlja izuzev od dolivanja "nove" D_2O za kompenzaciju gubitka iz sistema,

Zapaženo je odredjeno smanjene efikasnosti Cd kontrolnih šipki usled "izgaranja" istih, pa šipke treba zamenjivati u velikim vremenskim razmacima.

5.2. Informacije koje su dobijene uz pomoć drugih stručnjaka iz Instituta za teorijsku i eksperimentalnu fiziku u Moskvi.

Informacije smo sem od pogonskih stručnjaka, navedenih u tački 4.3. ovog izveštaja, dobijali još i od sledećih stručnjaka iz Instituta:

1. Prof. Dr. V.A. Galanin
2. L.A. Mircimova, st. naučni saradnik, kand. f.m. nauka
reaktorski teoretičar
3. Švedov, st. naučni saradnik, stručnjak za radiometriju
4. V.T. Starostin, naučni saradnik, stručnjak za reaktorsku termotehniku.
5. A.G. Zarikaev, " " " " "

5.2.1. Razni proračunski i eksperimentalni podaci:

Kvadrat difuzione dužine, svež hladan nezatrovan reaktor:

		157 cm ²
Dužina usporavanja	" " "	151 cm ²
Kvadrat difuzione dužine moderatora	"	4100 cm ²

Gornje veličine su sa uvažavanjem faktorom anizotropije od: 1,25.

Bakling za svež hladan nezatrovan reaktor: 0,00137 cm⁻²

k_{∞} za svež hladan nezatrovan reaktor: 1,8247

k_{∞} za svež vruć zatrovan reaktor: 1,7178

kvadrat difuzione dužine " " : 205 cm²

Dužina usporavanja " " : 163 cm²

Kao što je pomenuto parametri rešetke u zavisnosti od stepena izgaranja goriva nisu izračunavani, kao ni temperaturski koeficijent reaktivnosti i podaci o spektru neutrona u reaktoru.

Obećano je da će parametri rešetke u zavisnosti od izgaranja biti izračunati u cilju provere i uporedjenja sa podacima sa kojima već raspolažemo i koje intenzivno koristimo. Obećano je takodje da će biti izračunat temperaturski koeficijent k za konačno reaktorsko jezgro, koje odgovara punoj konfiguraciji reaktora RA sa 80% obogaćenim gorivom.

Zatim, obećano je da će biti napravljen proračun "ekskurzije" snage usled nekontrolisanog prirasta reaktivnosti, koji odgovara nekontrolisanom vadjanju jedne kompenzacione šipke reaktora RA.

Prema navodima sovjetskih stručnjaka iz Instituta u Moskvi, oni nisu vršili takve proračune niti raspolažu rezultatima proračuna procenta gasovitih radioaktivnih izotopa (produkata fisije i drugih nuklearnih reakcija u 80% obogaćenom gorivu u radnim uslovima) koji se oslobadjaju iz goriva, niti su u stanju da daju takve informacije jer one ne spadaju u domen Instituta za teorijsku i eksperimentalnu fiziku u Moskvi. Takodje nisu raspolagali rezultatima proračuna ukupne aktivnosti izotopa u gorivu u zavisnosti od vrste goriva i istorije goriva u reaktoru TVRS.

U pogledu spektra neutrona upoznati smo sa interesantnim radovima na području merenja osetljivosti jonizacione komore (davača snage) u zavisnosti od efektivne temperature neutrona ("leakage" spektra), Medjutim nema podataka o izmeni spektra neutrona u reaktoru usled zamene 2% obogaćenog goriva novim visoko obogaćenim gorivom. Raspodela neutronskeg fluksa u hladnom, svežem i nezatrovanom reaktoru merena je uglavnom Dy aktivacionim detektorima, dok je apsolutni fluks meren Au detektorima. Maksimalni apsolutni fluks za reaktor TVRS sa 80% obogaćenim gorivom pri nominalnoj snazi iznosi oko $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

5.2.2. Hidraulički i termički proračun gorivnog kanala

Rečeno je da nije vršen novi proračun kod unošenja 80% obogaćenog goriva u reaktor, tj. da bi bila primenjena ista metodologija koja je ranije primenjena na 2% obogaćeno gorivo, a koja se bazira na rešenju osnovne jednačine toplotne provodljivosti za stacionarno stanje uz primenu graničnih uslova treće vrste.

Posle toga sovjetski stručnjaci saslušali su izlaganje inženjera za sigurnost reaktora RA S.Čupača o metodologiji proračuna gorivnog kanala (takodje na bazi primene istog opšteg postupka) koja je primenjena kod proračuna tehnološkog kanala reaktora RA sa obe vrste goriva (6 elemenata 2% obogaćenog poluizgorelog goriva u aksijalno per fernim pozicijama kanala i 5 svežih 80% obogaćenih elemenata u aksijalno centralnim pozicijama kanala), kao i odgovarajućim numeričkim rezultatima. Sovjetski stručnjaci objasnili su da bi i oni sami primenili gotovo identičnu metodologiju, posle čega smo odustali od namere da im predložimo da izvrše uporedni hidraulički i tehnički proračun jednog kanala reaktora RA. Sovjetski stručnjaci objasnili su da je za date karakteristike gorivnog elementa i protoka hladioca proračun veoma malo osetljiv na vrednost koeficijenta za toplotnu provodljivost gorivne komponente gorivnog elementa i da zbog toga, kao i zbog sastava goriva, oni uzimaju ovaj parametar za čisti aluminijum. I ovaj zaključak je u punoj saglasnosti sa našim ^{ranije} dobijenim rezultatima. Sovjetski stručnjaci stavili su nam na raspolaganje vrednosti Prandlovih brojeva za raspon uslova koji vladaju u reaktoru RA, čime je omogućen proračun temperatura goriva u tehnološkim kanalima pod različitim radnim uslovima.

Sovjetski stručnjaci izjavili su da nisu vršili proračun prostorno vremenske zavisnosti "zaostale" snage u gorivu reaktora TVRS posle zaustavljanja reaktora, zbog složenosti graničnih uslova koji se moraju jako aproksimirati, tj. zbog odgovarajuće nepouzdanosti rezultata. Kao što je već napomenuto, iz sličnih razloga nije vršen ni proračun temperature goriva za

uslove maksimalnog akcidenta (akcidentalnog gubitka hladioca). Imali smo prilike da vidimo sistem za hladjenje reaktora u slučaju akcidentalnog gubitka hladioca, koji bi bio efikasan u slučaju gubitka D_2O iz reaktorskog suda preko zidova tog suda, kao i u slučaju dovoljno malih pukotina u glavnom kolu D_2O hladioca. Sistem se bazira na korišćenju obične vode iz vodovodne mreže, kojom bi se kompenzovao gubitak D_2O iz reaktorskog suda. Ovaj sistem verovatno ne bi bio dovoljno efikasan u slučaju stvaranja veoma velikih otvora na cevima u glavnom kolu hladioca.

5.2.3. Upoznavanje sovjetskih stručnjaka sa našim programom prevodjenja reaktora RA na 80% obogaćeno gorivo.

Ovo upoznavanje izvršeno je putem odgovarajućeg izlaganja R.Martinca, načelnika reaktora RA. Izlaganje o programu prevodjenja reaktora RA na novo 80% obogaćeno gorivo obuhvatilo je sledeća tri dela:

- a. Tehničke i ekonomske prednosti prevodjenja reaktora RA na novo gorivo putem parcijalnog uvođenja novog goriva umesto izbacivanja svog starog goriva i formiranja jengra isključivo od svežeg 80% obogaćenog goriva.
- b. Objašnjenje sadašnjeg ravnotežnog režima reaktora RA sa 2% obogaćenim gorivom, uključujući i obrazloženje vezano za celokupno dosadašnje iskustvo u eksploataciji reaktora RA sa 2% obogaćenim gorivom. Ovo objašnjenje je dato budući da su ranije izvršene analize za ravnotežno izgaranje sa novim 80% obogaćenim gorivom pokazale da je za nas najoptimalnija (sa sadašnjim spektrom potreba osnovnih korisnika reaktora RA) puna konfiguracija reaktora RA, uz primenu najekonomičnije šeme izgaranja (radijalni i aksijalni protok svežeg goriva iz centra ka periferiji reaktora), što sve zajedno obezbeđuje najveću vrednost fluksa termalnih neutrona pri neizmenjenoj snazi reaktora (ukupnoj i lokalnoj), i pri najmanjem utrošku goriva. Pošto je takav režim rada već postignut sa 2% obogaćenim gorivom

smatrali smo da bi njegovim objašnjenjem na odgovarajući način bio obrazložen i planirani ravnotežni režim izgaranja za novo 80% obogaćeno gorivo.

Objašnjenje sadašnjeg ravnotežnog režima (koji traje od februara 1975. godine do sada) dato je i zbog toga što je njegovim uvođenjem reaktor RA pripremljen za početak prelaznog režima vezanog sa ubacivanjem novog 80% obogaćenog goriva u aktivnu zonu sa poluizgorelim 2% obogaćenim gorivom.

- c. Objašnjenja u vezi sa izvršenim pripremama za prelazni režim "spregnutog" jezgra reaktora RA, tj. jezgra sa 2% i 80% obogaćenim gorivom, raspoređenim na poseban način. Ove pripreme obuhvatile su (sem stabilisanja prostorne raspodele stepena izgaranja, snage i fluksa u reaktoru RA) i teorijsku analizu prelaznog režima sa aspekta sigurnosti (odziv reaktorskog sistema na ubacivanje novog 80% obogaćenog goriva u pogledu fluksa, snage i reaktivnosti sistema), kao i odgovarajuće eksperimentalne rezultate do kojih se došlo tokom 1976. godine u okviru odgovarajućih eksperimenata sa 80% obogaćenim gorivom na malim snagama reaktora RA.

U diskusiji po ovom izlaganju nije bilo primedbi sa aspekta sigurnosti na naš prelazni režim, ali je data ozbiljna primedba u pogledu naše namere da idemo na ravnotežni režim sa maksimalnim stepenom izgaranja. Ovo mišljenje dao je Prof. Galanin, koji je to obrazložio bojaznošću da pri maksimalnom stepenu izgaranja ne dodje do povećanog broja defekata goriva usled radijacionog oštećenja u gorivu. Prof. Galanin je (kao odgovor na naše pitanje) rekao da smatra da ne treba ići na izgaranje veće od oko 70%, kao i da to nije zvanični fabrički podatak, nego podatak na bazi njihovog iskustva i opšteg poznavanja problematike. Prof. Galanin je takodje izneo svoj stav da je povoljnije da se to postigne smanjenjem količine goriva putem smanjenja broja gorivnih elemenata po kanalu, a ne smanjenjem broja kanala.

PART 2 OF DOCUMENT **RA-214-R3-P3-37**

RECORDS

CS06RA382-CS06RA385



Naslov/autor		IBK -	RA ID - 111
EFEKTI RADIJACIONOG OŠTEĆENJA GORIVA		Datum	Broj strana
REAKTORA RA			
S. Kozomara		8.12.1976.	
Distribucija		Abstrakt	
M. Petrović		U istraživačkom reaktoru RA koristi se 2% obogaćeno metalno uransko gorivo, dok neposredno predstoji uvođenje 80% obogaćenog uranskog disperzionog goriva. U cilju što veće sigurnosti kod eksploatacije ovog goriva neophodno je razumeti mehaničke efekte radijacionog oštećenja za ove dve vrste gorivnih elemenata, i to u pogledu nastajanja defekata na gorivnim elementima, u pogledu izmene osnovnih fizičkih karakteristika goriva (kao što su koeficijent toplotne provodljivosti i dr.) kao i u pogledu procenta oslobađanja vodonika aktivnih izotopa - fisijonih produkata i produkata drugih nuklearnih reakcija. Pošto na ovom području duže vremena nije bilo značajnije aktivnosti kod nas, znatan deo ovog rada ima monografski karakter. Objašnjeni su mehanizmi nastajanja defekata za metalno, čisto oksidno i disperziono uransko gorivo. Dati su podaci o dopustivom integralnom ozračivanju (izgaranju) za ova tri tipa goriva. Najveći stepen izgaranja dopustiv je za disperziono gorivo, zatim za oksidno i najmanji za metalno gorivo. Za disperziono gorivo dopušta se 100%-no izgaranje. Dati su rezultati proračuna procenta gasovitih izotopa koji dolaze do košuljice disperzionog elementa reaktora RA za nekoliko izotopa. Ovi procenti kreću se od 0,5% do 0,001% što je približno za red veličine manje od procenta karakterističnog za oksidno gorivo reaktora nuklearnih elektrana, koje je izloženo mnogo težim radnim uslovima.	
B. Perović			
M. Nikolić			
M. Milošević			
M. Ninković			
P. Strugar			
Dj. Lazarević			
Z. Zarić			
R. Martinc			
S. Kozomara			
S. Čupać			
Arhiva RA			
RZNS			
M. Živanović			
S. Koički			
J. Radivojević			
A. Borojević			
B. Dokić			
I. Vozab			
V. Dinic			
D. Popović			

S A D R Ž A J

1. UVOD	1
2. MEHANIZMI I EFEKTI RADIJACIONOG OŠTEĆENJA U GORIVU NUKLEARNIH REAKTORA	2
2.1. Radijaciono ponašanje metalnog urana	3
2.2. Radijaciono ponašanje UO_2	4
2.3. Radijaciono ponašanje UO_2 dispergovanog u metalu (Disperzioni gorovni elementi)	8
3. POSTUPAK ZA PRORAČUN I REZULTATI PRORAČUNA PROCENTA GASOVITIH IZOTOPA STVORENIH U GORIVU REAKTORA RA I DOSPelih DO KOŠULJICE GORIVNOG ELEMENTA.	10
4. ZAKLJUČAK	16
5. LITERATURA	17

U V O D

Nuklearni reaktor RA u Vinči radi već 17 godina. Za to vreme izvršen je veliki broj sigurnosnih analiza, ali nije nikada napravljen kompletan izveštaj za sigurnost reaktora RA. Jedna od komponenti izveštaja za sigurnost, na kojoj je iz objektivnih i drugih razloga najmanje uradjeno, jeste korektna analiza količine radioaktivnih izotopa produkata fisije i drugih nuklearnih reakcija - koja se stvara u gorivu reaktora RA, u zavisnosti od istorije tog goriva u reaktoru u pogledu ozračivanja. Ovakvi proračuni inventara radioaktivnih izotopa u gorivu dopunjuju se proračunima dela tih izotopa koji će se osloboditi iz goriva u različitim akcidentalnim uslovima.

Pošto su proračuni inventara izotopa za dve vrste uranskog goriva reaktora RA (2% obogaćeno metalno gorivo i naročito za 80% obogaćeno disperziono gorivo, koje će u roku od par godina zameniti svo metalno gorivo u reaktoru RA) u zavisnosti od uslova ozračivanja tog goriva u reaktoru RA, konačno završeni /1/, bilo je neophodno izvršiti i proračun količine stvorenih gasovitih izotopa koji dolaze do košuljice gorivnog elementa i koji će izaći iz elementa ako dodje do defekta gorivnog elementa, tj. njegove dehermetizacije.

Da bi se ovakav proračun mogao izvršiti bilo je neophodno dovoljno detaljno upoznati mehanizam radijacionog oštećenja u gorivu, što je korisno i sa drugih aspekata vezanih za sigurnost reaktora, kao što je verovatnoća dešavanja defekta goriva u zavisnosti od uslova ozračivanja, dopustivo maksimalno izgaranje goriva različitog tipa, izmena odredjenih fizičkih parametara goriva tokom ozračivanja, itd.

MEHANIZMI I EFEKTI RADIJACIONOG OŠTEĆENJA U GORIVU NUKLEARNIH REAKTORA

Interakcija zračenja i materije je vrlo složena pojava. Opšta analiza ovog pitanja, omogućuje da se zaključi, da veličina i karakter nastalih pojava pri ozračivanju zavise od vrste i doze zračenja, zatim tipa strukture materije, kao i temperature pri kojoj se vrši ozračivanje. Ista vrste zračenja izaziva kvalitativno pa i kvantitativno različite pojave u metalima, kovalentnim, jonskim kristalima, amornim materijalima itd.

Pri interakciji zračenja visoke energije i materije u ozračenom materijalu stvaraju se defektne strukture čijim nastajanjem i evolucijom dolazi ^{do} promena makroskopskih osobina materije. Osnovni proces pri nastajanju defekata ozračivanjem je premeštanje atoma iz njihovih normalnih položaja u rešetci, i stvaranja elementarnih defekata, vakancije, intersticijalni atomi i atomi primesa. Upadna čestica predaje **kinetičku** energiju atomu rešetke direktnim prenosom impulsa. Ako je predata energija veća od energije veze atoma u rešetki atom će nadvladati potencijalnu barijeru i biti izbačen iz svog normalnog položaja. Izbačeni atom može imati dovoljnu energiju da pri sudaru izbacuje nove atome iz rešetke pa mu se na taj način smanjuje energija i on se koči u neravnotežnom položaju u rešetki - intersticijalnom položaju. Tako nastaju parovi - vakancija - intersticijalni atom (Frenkelov efekat). Ako pak izbačeni atom dostigne površinu kristala, granicu zrna ili dislokaciju u rešetki ostaje jedno napušteno mesto - vakancija (Šopkijev efekat). Atomi primesa obrazuju se kao posledica nuklearnih transmutacija jezgra pri bombardovanju neutronima. Poseban slučaj čini uvođenje fisijnih fragmenata u rešetku. Oštećenja fisijnim fragmentima su mnogo intenzivnija zbog veće energije i mase fisijnih fragmenata, međutim znatno oslobađanje toplote pri fisiji favorizuje proces oporavljanja.

Efekat ozračivanja raste sa dozom zračenja, u početku proporcionalno a onda se usporava do tzv. saturacije oštećenja. Sa povećanjem doze raste broj izbačenih atoma kao i mogućnost rekonbinovanja defekata. Pri saturaciji oštećenja, rekonbinuje se onoliko defekata koliko se stvorio u datom trenutku.

Broj defekata nastalih u materijalu pri ozračivanju i njihova postojanost zavise od temperature pri kojoj se vrši ozračivanje. Temperatura ima tendenciju suzbijanja defekata, odnosno zagrevanjem materijala posle ozračivanja ~~anuliraju~~ se defekti i materijal se oporavlja. Međutim, sve promene pri ozračivanju nisu reverzibilne.

Uvodjenje odredjene količine defekata u strukturu remeti ovu u manjoj ili većoj meri. Na rengenogramima kristala oštre Bragg-ove linije karakteristične za savršene kristale se premeštaju, slabe, šire i difuzno rasejavaju. Atomi oko vakancija ili intersticijalnih atoma se pomeraju u manjoj ili većoj meri, rešetka se distorzira, povećava anizotropno, parametri rastu. Makroskopski fenomeni su povećanje zapremine i smanjenje gustine materijala. Prisustvo defekata u ozračenim strukturama dovodi do promene modula elastičnosti do povećanja granice elastičnosti i tvrdoće i smanjenja plastičnosti.

2.1. Radijaciono ponašanje metalnog urana

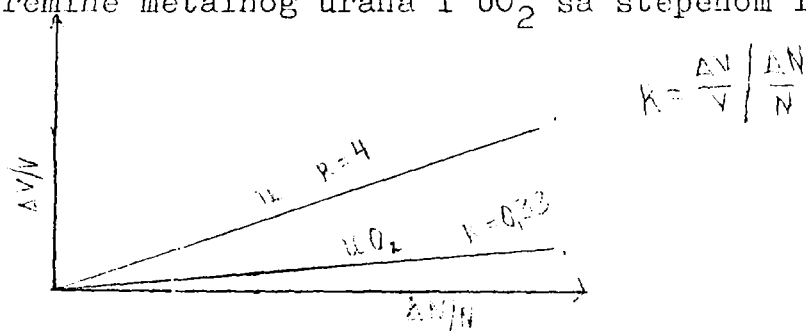
Metalni uran ima kristalnu strukturu sa **prostom prostornom** rešetkom, sa malim bez reda orijentisanim zrnima. Ovakvoj strukturi pripisuje se i njegovo ponašanje pri ozračivanju. Metalni uran pri ozračivanju lako menja zapreminu i oblik. Pri fisiji svakog atoma urana na njegovo mesto u rešetki dolaze dva atoma produkata fisije koji imaju veći srednji obim te se zbog toga zapremina metalnog urana uvećava. Eksperimentalno je pokazano da se zapremina metalnog urana povećava za 3% pri fisiji 1% atoma urana. Pri temperaturi do 400°C brzina radijacionog rasta urana karakteriše se izmenom zapremine na svaki procenat fisije atoma urana.
$$S = \frac{\text{izmena } V \%}{\% \text{ izgaranja}}$$
 Pri većim tem-

peraturama brzina rasta se jako uvećava, te zapremina može da poraste od 10% - 100% i više za svaki procenat fisije. Ovo se objašnjava time što na višim temperaturama od 400°C gasoviti produkti fisije (Kr, He) dobijaju veliku pokretljivost. Oni difunduju kroz rešetku obrazuju pore koje se uvećavaju pod pritiskom gasa koji savladjuje suprostavljanje puzanja urana i dolazi do bubrenja.

2.2. Radijaciono ponašanje UO_2

Za razliku od metalnog urana i njegovih gama - faznih legura UO_2 dozvoljava visoki stepen izgaranja bez primetnog bubrenja i narušavanja geometrijskog oblika i veličine gorivnih elemenata. UO_2 ima jednostavnu strukturu gustog pakovanja i velike simetrije, površinski centriranu kubnu rešetku, sa velikim procentom jonskog karaktera u vezama medju atomima, koja lako akomodira nagrizanja nastala premeštanjima atoma pri ozračivanju.

Jedan gram-molekul UO_2 sadrži 88% urana. Prema tome fisijom UO_2 pojavljuje se znatna količina fisionih produkata. Istovremeno dolazi do njihove oksidacije kiseonikom koji se oslobadja raspadnjem molekula UO_2 . Srednja zapremina produkata fisije koji nastaju fisijom 1 mola UO_2 je 54 cm³/mol a zapremina 1 mola UO_2 je 22,4 cm³ tako da ako sav uran podlegne fisiji zapremina treba da poraste 54:22,4 2,21 puta tj. zapremina se povećava na 120% što je znatno manje nego kod metalnog urana. Eksperimentalno je dokazano da se zapremina urana uvećava sporije. Verovatno je ^{to}usled sakupljanja produkata fisije u pukotinama unutar samog UO_2 . Na sl. 1 je data promena zapremine metalnog urana i UO_2 sa stepenom izgaranja²⁾



Iz slike se vidi da se za svaki stepen izgaranja, zapremina urana menja za 4% dok se kod UO_2 menja za 0,33%, znači 12 puta manje.

Visoka tačka topljenja UO_2 ($2700^\circ C$), odsustvo faznih transformacija, izotropna floridna struktura gustog pakovanja postojana pri ozračivanjima na visokim temperaturama, zatim hemijska postojanost u odnosu na većinu izmenjivača toplote, kompetibilnost sa najrazličitijim materijalima košuljice, sposobnost dobrog zadržavanja fisionih gasova su argumenti koji daju prednost UO_2 kao goriva za reaktore nad metalnim uranom. Fisioni produkti u metalnom uranu povećavaju krutost metala, rast zrna i plastičnu deformaciju metalne matrice a primetno oslobađanje gasovitih fisionih produkata dešava se uz intenzivno bubrenje i fizičko oštećenje metala.

U UO_2 po Belleu³⁾ fisioni produkti mogu biti zadržani do koncentracije koju stvara 3% izgoranih atoma a da se pri tome ne oseti tendencija homogene ekspanzije rešetke ili makroskopske dimenzione distrorzije. Strukturni efekat ozračivanja UO_2 je laka ekspanzija rešetke reda veličine 0,01 Å ili manje od 0,2% koja se lako zasićuje na niskim temperaturama pri fisionoj gustini manjoj od 5×10^{16} fisija/cm³.

Metalografskim ispitivanjem^{4,5,6)} uzoraka UO_2 ozračivanih do izgaranja 50% atoma urana i raznim brzinama doze utvrđeno je da UO_2 menja strukturu posle izgaranja 10% uranovih atoma. Floridna struktura UO_2 pošto je zagađena atomima manjeg radijusa te odnos univalentnih radijusa katjona i aniona postaje veći od 0,73 (po Paulingu uslov da struktura UO_2 ostane stabilna je da je taj odnos manji od 0,73) gubi kritičnost i postaje amorfan. Uvećanje zapremine raste kao i brzina difuzije gasova koja sad sa izgaranjem raste eksponencijalno. Promena strukture UO_2 posle izgaranja 10% uranovih atoma dokazana je i rengenografski. Na rengenogramima UO_2 koji su ozračivani sa dozama većim od $21,5 \times 10^{20}$ f po cm³ nema difrakcionih pikova UO_2 . Uzorci su ozračivani sa brzinom doze $12,5 \times 10^{13}$ n/cm²sek. Drugi uzorci UO_2 ozračivani su brzinom doze $6,3 \times 10^{13}$ n/cm² sek te je do gubitka kristaličnosti odnosno na

rengenogramima su difrakcioni pikovi isčezli tek pri dozi $30 \times 10^{20} \text{ f/cm}^3$ tako da je pokazano da sa smanjenjem brzine doze ozračivanja UO_2 gubi kristaličnost pri većim dozama. Rast zapreminske izmene pri većim izgaranjima od 10% uranovih atoma može da se tumači ili kao rezultat obrazovanja amorfne strukture koja ima manju gustinu od kristalne strukture ili kao rezultat izdvajanja i sakupljanja gasovitih fisionih produkata u porama. No međjutim pošto se topljenjem UO_2 zapremina povećava manje od 3% to se veća izmena zapremine treba pripisati obrazovanju pora napunjenih sa gasovitim fisionim produktima. Smatra se da do povećanja izmene zapremine sa brzinom doze ozračivanja dolazi zbog toga što pri malim brzinama doze ima dovoljno vremena da gasovi izdifunduju u pore bez znatne povrede kristalne strukture dok pri većoj brzini doze zbog velike temperature brzina difuzije se uvećava kao i brzina skupljanja gasova što dovodi do razaranja kristalne strukture.

Ako se prepostavi da se rastvorljivost plemenitih gasova u zavisnosti od pritiska koji se obrazuje pri ozračivanju amornog UO_2 podleže istim zakonima kojim i rastvorljivost gasova od pritiska, u tečnostima onda se može dati neka preporuka o konstrukciji gorivnog elementa s obzirom na dubinu izgaranja. Kada struktura UO_2 postaje amorfna tada se gasovi sakupljaju u porama i parcijani pritisak u porama i zazoru između goriva i košuljice, je u ravnoteži. Pri većem izgaranju pritisak u porama raste i uspostavlja se nova ravnoteža. Konstrukcija elementa je dužna da obezbedi stvaranje ravnotežnog pritiska koji treba da se kreće od 0 do pritiska koji se uspostavlja pri punom izdvajanju gasova. Kod mehanički povredjene košuljice gasovi slobodno izlaze iz goriva a ravnotežni pritisak koji ograničava izlaženje gasova ne može da raste te gorivo nabrekne u pravcu povrede košuljice, brzinom difuzije gasova u amorfnom telu i rastojanja do najbliže pore. Ovo je potvrđeno i činjenicom da su u centru goriva od UO_2 pore veće jer je i temperatura veća pa je i brzina difuzije veća. Isto tako pore su veće na površini uzorka gde takodje ne može da se održi

ravnotežni pritisak. Proračun o konstrukciji elementa zavisi od svojstva sistema radne temperature, rastvorljivosti gasova pri toj temperaturi i pritisku. Tako se za predele izgaranja pri kojima dolazi do velike promene strukture UO_2 koriste elementi u kojima je uticaj na ravnotežni pritisak maksimalan. Smatra se da je kod gorivnog elementa sa kompaktnim UO_2 maksimalno dozvoljeno izgaranje 10% uranovih atoma, za elemente tipa tankog strežnja 50% uranovih atoma a za disperzione gorivne elemente izgaranje od 100% uranovih atoma ⁷⁾.

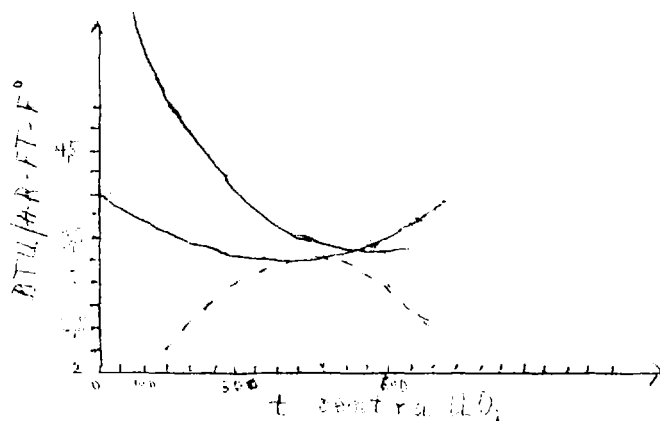
Od promena svih osobina UO_2 pri ozračivanju najznačajnija je promena termičke provodljivosti. Pri ozračivanju UO_2 koeficijent provodjenja toplote opada a povećanje broja defekata ometa prenošenje toplotnih impulsa kroz rešetku. Inače nimalo, koeficijent provodljivosti UO_2 se superponiranjem ovih efekata smanjuje što dovodi do velikog temperaturnog gradijenta i naprezanja, te do stvaranja pukotina koje opet doprinose lošem odvodjenju toplote. Po Rossu ⁷⁾ koeficijent provodjenja toplote opada sa povećanjem doze do zasićenja koje se javlja pri gustini fisije manjoj od 5×10^{16} fisija/cm³.

Podudarnost vrednosti gustine fisije pri kojoj se postiže stabilizacija vrednosti parametra rešetke i koeficijenta provodjenja toplote ukazuje na sličan tip poremećaja koji proizvodi oba efekta. Vršeći odgrevanje ozračenih uzoraka UO_2 Ross je konstatovao da se uzorci izloženi ozračivanju do 2×10^{16} fisija po cm³ odgrevani na 1000°C oporavljaju i stižu koeficijent provodjenja toplote koji su imali pre ozračivanja. Kad su uzorci ozračeni preko 10^{18} f/cm³, i odgrevani na 1000°C pokazivali su porast koeficijenta provodjenja toplote samo do 1/2 vrednosti pre ozračivanja.

Na slici 2. date su tri krive. Prvu krivu dali su Cohen i dr. ⁹⁾ mereći termičku provodljivost UO_2 u gorivnom elementu pri radu reaktora i prateći promenu koeficijenta provodljivosti sa temperaturom. Kriva pokazuje opadanje k sa temperaturom i to za 30% nižim od vrednosti koeficijenta provodljivosti neozračenog UO_2 . Koeficijent provodljivosti ne ozračenog UO_2 sa temperaturom merio je Kingery (kriva 2. na slici 2.).

Kriva 3. je dobivena merenjem koeficijenata provodljivosti u funkciji temperature UO_2 koji je prvo bio izložen ozračivanju do 10^{19} f/cm³. Sa slike se vidi da se do temperature 400°C usled anilinga diže vrednost k a iznad 400°C preovlađava efekat smanjenja k . (Pojačavanjem harmonijskih oscilacija atoma rasipaju se termički impulsi koji se prenose kroz rešetku.)

Usled oslobađanja toplote pri fisiji, smanjenja koeficijenta provodjenja toplote, stvaranje velikih gradijenata temperature i termičkih naprezanja na jezgrima gorivih elemenata od sinterovanog UO_2 dolazi do stvaranja pukotina, rasta zrna a obrazovanja centralnog kanala. Bitna narušavanja se dešavaju u centralnoj zoni gde se obrazuje šupljina duž ose elementa. Proces obrazovanja šupljine olakšan je u slučaju velikog prečnika jezgra kada se centralni delovi rastapaju i pokretljivost mase UO_2 raste.



Slika 2

2.3. Radijaciono ponašanje UO_2 dispergovanog u metalu (Disperzioni gorivni elementi)

Mnogi istraživački reaktori danas rade sa gorivnim elementima disperzionog tipa. Kod gorivnih elemenata disperzionog tipa fisibilna faza u obliku malih čestica homogeno je raspoređena u matrici. Kao fisibilni materijal koriste se UO_2 ili PuO_2 a matrica je obično od metala, legure, keramike ili grafita. Za istraživačke reaktore sa vodom kao hladiocem čija je radna temperatura od 30 do 100°C košuljica i matrica disperzionog

gorivnog elementa je aluminijum. Visoka toplotna provodljivost aluminijuma kad se kombinuje sa pogodnom radijacionom geometrijom elementa dozvoljava korišćenje ovakvih elemenata u reaktorima sa visokim toplotnim opterećenjima^{10,11)}

Neophodan uslov za rad pri visokim temperaturskim opterećenjima elementa disperzionog tipa je odsustvo temperaturskih barijera između goriva i košuljice. Ovo se ostvaruje disperzionom vezom košuljice i goriva. Kod nekih istraživačkih reaktora sa gorivnim elementima, disperzionog tipa fluks neutrona je preko 10^{15} n cm²/sec. Na američkom reaktoru "Savannah River" posle njegove modernizacije fluks neutrona je $4,2 \times 10^{15}$ n cm²/sec.

Disperzioni elementi odlikuju se visokom radijacionom stabilnošću. Visoka radijaciona stabilnost dolazi od toga što se produkti fisije lokalizuju u dispergovanim fisibilnim česticama ili oko njih te čvrstoća matrice ne dozvoljava stvaranje pukotina u jezgrima elementa. Radijaciona stabilnost elementa disperzionog tipa zavisi od strukturne raspodele fisibilne faze i matrice. Weber i Gris^{12,13)} su analizirali takve strukture i dali preporuke za izbor razmera fisibilnih čestica i njihove raspodele u matrici. Autori polaze od pretpostavke da je termodifuzija produkata fisije zakočena toliko da se ona može zanemariti, te će u tom slučaju fisioni produkti prodrati u matricu na dubinu 1 m samo za iznos energije uzamaka pri fisiji. Tako će se za vreme rada reaktora u elementima disperzionog tipa oko fisione čestice u matrici formirati pojas u koji su prodrli fisioni produkti. Autori su na osnovu srednje energije uzamaka fisionih produkata izračunali da je debljina tog pojasa u matrici od aluminijuma $3,7\text{ mg/cm}^2$ a u matrici od gvoždja $5,2\text{ mg/cm}^2$. Ovi teorijski podaci su i eksperimentalno dokazani.

Da bi se moglo smatrati da se svojstva matrice neće promeniti usled stvaranja ovih pojaseva to odnos nepromenjene matrice i matrice koja je prošarana ovim pojasevima mora biti mali.

U svakom sličaju rastojanja izmedju fisijonih čestica moraju biti tolika da se ovi pojasevi ne dodiruju.

UO_2 se različito ponaša pri ozračivanju kada se ozračuje kao kompaktno telo (tablete dijametara nekoliko milimetara) i u obliku sitnih delića (dijametar ne prelazi desete delove milimetra) dispergovanih u metalnu matricu. Različito ponašanje je prvo zbog toga što se u kompaktnom UO_2 zbog slabe toplote provodljivosti razvija visoka temperatura i drugo uticajem ograničavanja od strane matrice. Pri ozračivanju dispergovanog UO_2 dolazi do sinterovanja UO_2 , nestaju pukotine koje su se stvorile pri proizvodnji elementa, zatim zaokrugljavanja zrna i odvajanja od matrice. Obrazuju se sverne pore umesto pora nepravilnog oblika. Sa porastom temperature ili izgaranja pore se uvećavaju. Rast pora ide sporije nego kod kompaktnog UO_2 zbog ograničavanja od strane matrice. Pri visokim temperaturama pri ozračivanju čestice UO_2 gube kristaličnost te zbog velikog pritiska gasova matrica popušta i dolazi do stvaranja pukotina u matrici. Pri zagrevanju uzoraka UO_2 disperzionog tipa sa matricom od nerđajućeg čelika pokazano je da skupljanje gasova u porama može da izdrži dosta veliki pritisak pre nego što dolazi do deformacije matrice. Tek posle zagrevanja 200 sati na temperaturi 900°C došlo je do stvaranja pukotina u matrici¹⁴⁾.

3. POSTUPAK ZA PRORAČUN I REZULTATI PRORAČUNA PROCENTA GASOVITIH IZOTOPA STVORENIH U GORIVU REAKTORA RA I DOSPELIH DO KOŠULJICE GORIVNOG ELEMENTA

Fisioni produkti mogu se podeliti uglavnom u tri grupe. Prva grupa su stabilni izotopi koji se uglavnom formiraju i ulaze u rešetku UO_2 kao katjoni, a pri većim koncentracijama oni ulaze u rešetku UO_2 kao kondenzovana faza. Samo Se, Te, J i Br se formiraju kao anjoni i kao takvi ulaze u rešetku UO_2 . Pri većim koncentracijama oni ulaze u rešetku kao kondenzovana faza ili se sjedinjuju sa katjonima ili pri jako velikim koncentracijama isparavaju sa površine UO_2 . Treća grupa koja je najznačajnija su plemeniti gasovi Xe i Kr. Kako oni ulaze u rešetku UO_2 još je nepoznato ali njihova sposobnost da lako isparavaju sa otvorenih površina potvrđuje

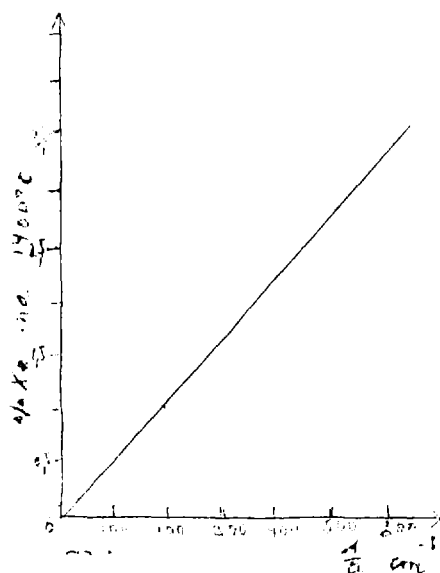
kako se mogloⁱ očekivati da su oni slabo vezani u rešetci. Smatra se da postoje dva načina na koja plemeniti gasovi izlaze iz rešetke UO_2 . Prvi način je posredstvom uzmarka u slučajevima kada se atom koji podleže fisiji nalazi na dubini dužine puta uzmarka fisijonih produkata. Smatra se da na ovaj način plemeniti gasovi izlaze iz UO_2 kada se ovaj ozračuje na niskim temperaturama i u slučaju kad su čestice UO_2 male kao kod disperzionog goriva. Treba naglasiti da trenutna brzina izlaženja plemenitih gasova iz UO_2 posredstvom uzmarka ne zavisi od prirode izotopa i temperature pri kojoj se vrši ozračivanje. Trenutna brzina zavisi od količine fisijonih produkata dužine puta uzmarka u čvrstoj fazi i veličine spoljne površine UO_2 .

Drugi način na koji se gasoviti fisijoni produkti izdvajaju iz UO_2 je difuzija gasova u čvrstoj fazi. U ovom slučaju trenutna brzina zavisi od prirode izotopa parametra rešetke čvrste faze i koncentracije izotopa u čvrstoj fazi. Smatra se da je ovaj način isključiv za isticanje gasova iz UO_2 pri visokim temperaturama.

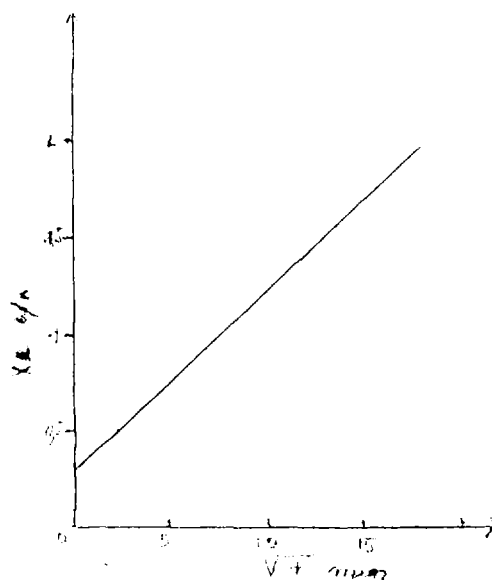
Izučavanje procesa izdvajanja gasovitih produkata fisije iz UO_2 difuzionim mehanizmom pokazano je da kinetika procesa i njena temperaturska zavisnost odgovara kinetici aktivirane difuzije gasova u čvrstim telima. Količina izdvojenog gasa varira sa temperaturom i specifičnom površinom uzorka.

Booth i Rymer¹⁵⁾ su ispitivali izdvajanje plemenitih gasova iz UO_2 u zavisnosti od radijusa čestice jer iz obrasca

$$F_i = -\frac{6}{a} \sqrt{\frac{D_i t}{\pi}} - \frac{3}{a^2} D_i t$$
 koji je dao Booth¹⁶⁾ količina izdvojenog gasa obrnuto je proporcionalna radijusu čestice te su ovo dokazali i eksperimentalno. (slika 3.)



Slika 3



Slika 4

Iz gornjeg obrasca takodje sledi da je količina izdvojenog gasa proporcionalna sa t , te su autori i to eksperimentalno dokazali. Slika 4.

Pokazano je takodje da količina izdvojenog gasa sa dubinom izgaranja kada je ona veća od 10% atoma urana odnosno kada UO_2 gubi kristaličnost brzina izdvajanja gasa sa izgaranjem raste eksponencijalno.

Količina produkata fisije koja se izdvaja iz čvrste faze ne zavisi samo od koeficijenta difuzije izotopa koji ističe iz čvrste faze nego i od najkraćeg puta do površine. Kod tela sa idealnom gustinom ta veličina se određuje merenjem razmera tela. Medjutim kod gorivnih elemenata na bazi UO_2 usled tehnologije pripremanja može se javiti poroznost. Poroznost može biti otvorena i zatvorena u zavisnosti da li pore imaju vezu sa površinom elementa ili ne. Veza izmedju poroznosti i gustine raspravlja se u radu¹⁷⁾.

Konstatovano je da je izdvajanje gasova do temperature $1500^{\circ}C$ neznatno, odnosno oštro izdvajanje gasova počinje na temperaturama na kojima je i rast zrna primetan.

Gasovi iz jezgra gorivnog elementa se smeštaju u zazoru izmedju goriva i košuljice. Količina gasa iz jednog cilindričnog, gorivog elementa sa gornjom površinom S , zapreminom V može se izračunati iz jednačine¹⁸⁾:

$$N_t/N_0 = 2 e^{-\lambda t} \sqrt{D_t t/\pi} \cdot S/V$$

λ je konstanta raspada dotičnog izotopa a jednaka je $\ln 2/t_{1/2}$

D_t je difuzioni koeficijent dotičnog izotopa na toj temperaturi.

Ispitivanje brzine difuzije plemenitih gasova u UO_2 ¹⁹⁾ na nižim temperaturama konstatovano je da temperatura od 100 do 500°C sasvim malo ili uopšte ne utiče na brzinu izdvajanja gasova. Takodje je konstatovano da dobivene male razlike između koeficijenta difuzije između kriptona i ksenona potiču više od razlika u konstanti raspada nego u difuziji. Isto tako konstatovano je²⁰⁾ da jod difunduje istom brzinom kao i Xe i Kr. Ovi rezultati su dobiveni na uzorcima koji su ozračivani do 10×10^{20} f/cm³.

Rezimirajući rezultate^{18,20,21,22,23)} može se zaključiti¹²⁾ da se za izučavanje koeficijenta difuzije gasova koji se oblikuju razuju pri fisiji u UO_2 za temperature veće od 800°C može uzeti:

$$D = 6,6 \times 10^{-6} e^{-(71,700/RT)} \text{ cm}^2/\text{sek}$$

dok se za temperature manje od 800°C, može smatrati da je koeficijent D nezavisan od temperature i da je ravan $10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sek}$.

Felix et al²⁴⁾ i Langewall²⁵⁾ smatraju da se difuzija ispod 600°C vrši transportom duž dislokacija a ovaj proces se karakteriše niskom energijom migracije (8 Kcal/mol) dok na temperaturama iznad 600°C difuzija teče intersticijskim mehanizmom sa visokom energijom aktivacije (67 Kcal/mol).

Za proračun količine gasovitih fisionih produkata koji se izdvajaju iz gorivog elementa na bazi UO_2 zbog slabe provodljivosti UO_2 i stvaranja velikih temperaturnih gradijenata treba do kraja je mere znati temperaturne uslove koji vladaju u gorivom elementu kao i karakteristike izdvajanja gasovitih produkata iz goriva. Termičke karakteristike mogu biti okarakterisane izrazom:

KdT , gde je K toplotna provodljivost goriva.

T A B L E 1.

TABLE 8. COMPARISON OF CALCULATED AND MEASURED GAS RELEASE FROM CO₂

Sample Number	Effect, * 1/cc $\times 10^{-20}$	D at 1000° C	Fuel % T.D.	a (Δ)	Fuel Temp (°F)			D Values			$\sqrt{D}$ Total	Time In-Pile (sec)	Calc Frac Released	Meas Frac Released
					Center	Surface	Mean	Center	Surface	Mean				
502	3	3×10^{-17}	97.5	1500	2283	870	1460	7×10^{-12}	2×10^{-17}	3×10^{-14}	3×10^{-7}	1.7×10^7	0.036	0.016-0.013
504	6	5×10^{-15}	96.5	300	1876	1143	1500	10^{-12}	7×10^{-18}	10^{-14}	2×10^{-7}	2×10^7	0.067	0.023-0.035
N7N11	8.5	10^{-15}	98.0	1500	1440	910	1130	3×10^{-14}	10^{-19}	10^{-16}	3×10^{-8}	3.8×10^7	0.028	0.019-0.020
513	13	5×10^{-14}	95.0	100	1263	1620	1116	6×10^{-15}	5×10^{-17}	2×10^{-15}	4.3×10^{-5}	3.5×10^7	0.06	0.052-0.12
5112	7	3×10^{-16}	96.0	100	1932	745	910	2×10^{-15}	3×10^{-19}	4×10^{-17}	1.1×10^{-8}	2.87×10^7	0.013	0.003-0.005
55	2	2×10^{-17}	96.0	100	1235	950	1030	6×10^{-18}	10^{-19}	10^{-19}	0.7×10^{-9}	3.5×10^7	0.0004	0.002-0.005
N112	18	10^{-15}	98.0	1500	1326	950	1140	2×10^{-13}	3×10^{-17}	2×10^{-15}	6.3×10^{-7}	2.92×10^7	0.10	0.10-0.17
501	10	10^{-15}	97	300	1276	1000	1130	10^{-15}	5×10^{-19}	4×10^{-17}	9.9×10^{-8}	1.42×10^7	0.003	0.025-0.050

*Effective fissions/cc equals 1/2 total fuel depletion.

*Although this fuel was fabricated with 12 percent open porosity at high burnups of interest in these calculations, the fuel microstructure resembles that of high density irradiated fuel (see Figure B-115).

I pored svih detaljno proučenih parametara teorijski proračun isticanja gasova se razlikuje od eksperimentalnih podataka. Ovo ilustruje primer u tabeli 1²⁶⁾.

U tabeli 2. date su izračunate vrednosti koeficijenta isticanja gasova iz našeg disperzionog gorivog elementa. Pošto je kod našeg goriva matrica od aluminijuma koji je dobar provodnik toplote to u takvom elementu neće doći do razlika temperatura u centru i površini bar ne toliko, bitnih da bi se vršila korekcija i uzimao srednji difuzioni koeficijent. Izračunate vrednosti koeficijenta su sigurno veće nego što su stvarne vrednosti, jer se u difuzionom gorivu difuzija vrši i oko same čestice goriva, kroz česticu a zatim kroz matricu. Pošto nema literaturnih podataka za takve proračune računato je kao da je gorivi element datih dimenzija ceo ispunjen sa UO_2 .

Tabela 2.

Izotop	Poluvreme raspadanja	Radioak. konstanta	Koeficijent Fi za 1 sat	Koeficijent Fi za 200 dana
^{85}Kr	4,4 h	$4,37 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-8}$	$8,9 \times 10^{-5}$
^{88}Kr	2,8 d	$2,8 \times 10^{-6}$	$2,15 \times 10^{-8}$	$1,02 \times 10^{-4}$
^{131}J	8,05 d	9×10^{-7}	$2,16 \times 10^{-8}$	$1,03 \times 10^{-4}$
^{132}J	2,3 h	$8,4 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-8}$	$7,7 \times 10^{-5}$
^{134}J	52,8 min	$2,19 \times 10^{-4}$	$9,9 \times 10^{-7}$	$4,7 \times 10^{-3}$
^{136}J	6,7 h	$2,87 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-8}$	$9,4 \times 10^{-5}$
^{133}Xe	5,27 dana	$1,5 \times 10^{-6}$	$2,17 \times 10^{-8}$	$1,04 \times 10^{-4}$
^{135}Xe	5,2 h	$2,09 \times 10^{-5}$	$2,03 \times 10^{-8}$	$9,7 \times 10^{-5}$

4. Z A K L J U Č A K

Na osnovu proučenog radijacionog ponašanja metalnog urana, UO_2 kao i disperzionog goriva na bazi UO_2 može se zaključiti da je gorivni elemenat na bazi UO_2 daleko pogodniji u svakom slučaju od gorivih elemenata na bazi metalnog urana.

- I. Može se smatrati da postoje dva uzroka zbog čega dolazi do zapreminskog rasta odnosno bubrenja goriva. Prvi je što usled cepanja uranovog atoma na njegovo mesto dolaze dva atoma fisionih produkata koji imaju veći srednji obim i drugo usled pritiska gasovitih fisionih produkata odnosno usled remećenja ravnotežnog pritiska gasova koji treba da obezbedi konstrukcija elementa. Na osnovu citirane literature ^{/1/} i slike 1. jasno se vidi da je brzina zapreminskog rasta metalnog urana 12 puta veća. Isto tako lakše je konstrukcijom elementa na bazi UO_2 obezbediti ravnotežni pritisak stvorenih gasovitih fisionih produkata koji treba da vlada u gorivnom elementu, naročito kod disperzionih gorivnih elemenata, nego kod gorivih elemenata na bazi metalnog urana što dokazuje činjenica da se kod disperzionog gorivog elementa dozvoljava izgaranje 100% uranovih atoma ^{/6/}.
- II. Zbog jednostavne strukture UO_2 i velike simetrije koja uslovljava visoku radijacionu stabilnost UO_2 brzina difuzije gasovitih fisionih produkata u UO_2 je znatno manja nego kod metalnog urana pa su i koeficijenti izdvajanja gasova manji nego kod metalnog urana, a zatim visoka tačka topljenja UO_2 (2700°C) u odnosu na U (1680°C) čini gorivne elemente na bazi UO_2 daleko pogodnijim u slučaju mogućih akcidenata.

L I T E R A T U R A

1. Bulović V., Martinc R., Čupac S., -"Proračun aktivnosti nekih izotopa u visokoobogaćenom uranskom gorivu reaktora RA, značajnih sa gledišta moguće kontaminacije okoline"
Interna dokumentacija reaktora RA - 103, feb.1976.
2. Weber, Inter.conf. Geneva, 1958. Vol.5 P/1862 p.619
3. Bell, "Uranium Dioxide Properties and Nuclear Applications"
U.S.G.P.O Washington 1961.
4. Barney W.K. and Wemple B.D. Metallograpjy of UO_2
-Containing Fuel Elements, KAPL - 1836 Jan 15 1958.
5. Barney W.K. Inter.conf Geneva Vol.6 p. 677 1958.
6. Barney W.K. Inst. Metals. Div Spec. Rept. Ser. N^o 9 71 (1958)
7. Lansman B. Radijacionije javlenija v dvokisi urana ATOMIZDAT
1974. st 284
8. Ross, GRFD-817 1960.
9. Cohen I et al, WAPD - 228 August (1960)
10. Hansner H.H. et al Nuclear Fuel Elements, Reinhold Publ.
Corporation N.Y., 1959.
11. Zinn W.H. et. al. Nucl. Sci and Engng 1, 420 (1959)
12. Weber C.E. Progres in Nuclear Energy Ser V,
Metalurgy and Fuels. Vol. 2 London 1952.
13. Weber, Gris, Inter. conf. Geneva 1955.
14. Weber, Inter. Conf, Geneva 1958 Vol 6 p. 507
15. Booth and Ryser AECL - 692 Aug. 1958.
16. Booth JRDC - 721 sep. 1957.
17. Belle J and Lustman TID - 7546 p. 442-515 (1958).
18. Linder R. and Matzke H.J., Z.Naturforsch 14 A 1074 (1959)
19. Eichemberg et al. Fuel Elements Conference, Paris, TID-7546
616 (1958).
20. Linder R. and Matzke H.J., Z. Naturforsch 14 A 720 (1959)
21. Belle, Inter conf Geneva 1958 Vol 6 P/2404



Naslov/autor MERNI KANAL SA 80% OBOGAĆENIM URANSKIM GORIVOM REAKTORA RA M Milošević	IBK -	RA ID - 113
	Datum 8.12.1976.	Broj strana
Distribucija M. Petrović B. Perović M. Nikolić M. Milošević M. Ninković P. Strugar Dj. Lazarević Z. Zarić R. Martinc S. Čupać Arhiva RA RZNS M. Živanović S. Koički J. Radivojević A. Borojević B. Đokić I. Vozab V. Dimić D. Popović	Abstrakt Opisan merni kanal za nove gorive elemente za reaktor RA (obogaćenje 80% U 235), 3x način postavljanja termoparova i rezultati merenja. Ovim merenjem je proverena računski dobijena temperatura košuljice gorivih elemenata, a što je bilo neophodno za uvođenje novih gorivih elemenata u reaktor RA 2x 10x 5x 3x	

S A D R Ź A J

1. MERNI KANAL ZA 80% OBOGAĆENO URANSKO GORIVO REAKTORA RA	1
2. ZAKLJUČAK	4

1. MERNI KANAL ZA 80% OBOGAĆENO URANSKO GORIVO REAKTORA RA

U V O D

Radi temperaturne kontrole novih, 80% obogaćenih gorivnih elemenata, i radi provere računskih vrednosti, pristupilo se opremanju gorivih elemenata termo parovima.

P r i p r e m e:

U jedan tehnološki kanal stavljeno je 11 novih gorivnih elemenata. Označavajući ih odozgo na dole elementi su bili ovako raspoređeni:

1. 2% gorivo (U 235)
2. 2% gorivo (U 235)
3. 2% gorivo (U 235)
4. 2% gorivo (U 235)
5. 80% gorivo (U 235)
6. 80% gorivo (U 235)
7. 80% gorivo (U 235)
8. 80% gorivo (U 235)
9. 80% gorivo (U 235)
10. 2% gorivo (U 235)
11. 2% gorivo (U 235)

Termo parovi su ugrađeni samo u elemente sa 80% U 235.

Ugrađivanje je izvršeno na taj način što je svaka košuljica gorivog elementa prokopana (na strugu) u dužini od 70 mm, od gornje ivice zvezde. Kopanje je izvršeno na širini od 0,5 mm i išlo se u dubinu 0,4 mm. U taj kanal uloženi su termoparovi od $\varnothing$ 0,5 mm (SODERN - 2 AB AC 05 TI/6 m). Zatim su stisnuti bokovi kanala tako da je termopar ostao uštinut između bokova. Delimično, obloga termopara činila je spoljnu površinu gorivog elementa.

(Treba napomenuti da je početak skale šterpača bio postavljen na 30°C):

Temperatura na gorivnom elementu (°C)		5.	6.	7.	8.	9.
Snaga (KW)	Radjeno					
0	28.X.76.	47	36	36,5	36	36
50	28.X.76.	35	< 30	< 30	< 30	< 30
200	28.X.76.	54,3	43,5	43,5	43	42,5
600	29.X.76.	49	37,5	37,5	36,3	35,3
3250	30.X.76.	48	37,0	35,5	33,5	32

Jasno je da pri radu na izvesnim snagama nije bilo hladjenja, a sa povećanjem snage ono se povećavalo.

U toku merenja je uočeno da se 5 - ti gorivi element čudno ponaša i da daje veće pokazivanje temperature za oko 11°C.

Po zaustavljanju reaktora, posle izvršenog ispitivanja, ustanovljeno je da su krajevi termopara na 5. elementu pogrešno okrenuti, što je dalo i pogrešne veće rezultate.

2. Z A K L J U Č A K

Ovako opremljeni tehnološki kanal termoparovima, u ovom merenju nam je poslužio kao kontrolnik temperature košuljica novih 80% obogaćenih gorivih elemenata, što je bilo neophodno za uvođenje novog goriva za uvođenje u reaktor RA.

U buduću ovako instrumentisan tehnološki kanal će moći da se koristi za kontrolu opterećenja gorivih elemenata na različitim mestima, u reaktorskom jezgri, preko kontrole temperature košuljica istih.



Naslov/autor PRORAČUN TEMPERATURE KOŠULJICA GORIVNIH ELEMENATA REAKTORA RA I UPOREDJENJE SA IZMERENIM VREDNOSTIMA U MERNOM KANALU SA 80% OBOGAĆENIM GORIVOM	IBK -	RA ID - 112
	Datum 8.12.1976.	Broj strana

S. Cupać
Distribucija

Abstrakt

M. Petrović
B. Perović
M. Nikolić
M. Milošević
M. Ninković
P. Strugar
Dj. Lazarević
Z. Zarić
R. Martić
S. Cupać
Arhiva RA
RZNS
M. Živanović
S. Koički
J. Radivojević
A. Borojević
B. Dokić
I. Vozab
V. Dimić
D. Popović

2x
3x
10x
5x
3x

U sklopu sigurnosnih analiza za reaktor RA sa novim 80% obogaćenim gorivom, izvršen je termički proračun tehnoloških kanala sa ovim gorivom. proračun se odnosi na kanale u reaktoru RA na početku prelaznog režima korišćenja novog goriva. Ovaj prelazni režim karakteriše mešanje svežeg 80% obogaćenog goriva sa poluizgorelim 2% obogaćenim gorivom. Proračun se zasniva na rešavanju osnovne jednačine za prenos toplote uz primenu graničnih uslova treće vrste i korišćenje izmerenih vrednosti prostorne raspodele gustine neutrona, karakteristične za konfiguraciju jezgra reaktora RA sa kojem se ulazi u prelazni režim. Ovaj prelazni režim počće eksperimentalnom kampanjom reaktora RA, decembra 1976. godine. Dati su rezultati proračuna za nominalnu snagu reaktora od 6,5 MW i za tehnološke kanale na pozicijama u jezgru reaktora RA, u kojima će se nalaziti u decembarskoj kampanji 1976. Dobijeni rezultati za temperature košuljica gorivnih elemenata i D_2O hladioca su znatno ispod primarnih ograničenja za ove parametre. Na osnovu izmerenih temperatura košuljica gorivnih elemenata RA, pri instrumentalnoj snazi reaktora od 3,25 MW, procenjeno je kolike će one biti pri snazi reaktora od 6,5 MW. Proračunata vrednost maksimalne temperature je za oko 6% veća od procenjene, što je posledica učinjenih aproksimacija, kako u samom proračunu tako i kod odredjivanja ulaznih podataka o aksijalnoj raspodeli snage u kanalu.

S A D R Ź A J

1. UVOD
2. METODOLOGIJA I REZULTATI PRORAČUNA I DOBIJENI REZULTATI
3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I UPOREDJENJE IZMERENIH I PRO--
RAČUNATIH VREDNOSTI
4. ZAKLJUČAK
5. LITERATURA

U V O D

Prelazak reaktora RA na novo 80% obogaćeno gorivo zahteva što tačnije poznavanje toplotnog režima u kome će ono raditi. Zbog toga je potrebno proceniti kolike će biti temperature košuljica gorivnih elemenata.

Pošto će prvi elementi novog goriva ući u tehnološke kanale, po toplotnom režimu sličnom onome u kanalu 0703, to je ovde izvršen proračun samo za taj kanal i izvršena analiza eksperimentalnih rezultata dobijenih na kanalu 0509, koji spada u grupu kanala sličnih kanalu 0703.

2. METODOLOGIJA I REZULTATI PRORAČUNA I DOBIJENI REZULTATI

Kao gorivo reaktor RA koristi prirodni uran obogaćen sa 2% U^{235} . Gorivni element ima oblik šupljeg cilindra. Unutrašnji poluprečnik aktivnog dela goriva iznosi 1,55 cm, a spoljašnji 1,75 cm. Aktivni deo goriva je zaštićen aluminijumskom košuljicom debljine 1 mm. Dužina gorivnog elementa je 11,25 cm.

Gorivo je smešteno u tehnološke kanale (po 11 gorivnih elemenata je poredjano jedan iznad drugog u jednom tehnološkom kanalu), kroz koje protiče rashladni fluid.

Hladjenje goriva reaktora RA se ostvaruje prinudnom cirkulacijom teške vode sa spoljašnje i unutrašnje strane gorivnog elementa. Teška voda protiče kroz šupljine u obliku prstena. Širina unutrašnje šupljine je 2,5 mm a spoljašnje 2 mm.

Prema količini fluida kojom se gorivo hladi, tj. količini fluida koja protekne kroz tehnološki kanal, ono se deli u dve grupe: centralnu i perifernu. Pri ukupnom protoku, kroz reaktor, teške vode od $250 \text{ m}^3/\text{h}$ kroz od svaki od centralnih tehnoloških kanala protekne $3,58 \text{ m}^3/\text{h}$, a kroz svaki od perifernih kanala protekne $2,16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pri proračunu se pošlo od osnovne jednačine za toplotnu provodljivost (kao u zadatku 4 glava 3 /1/):

$$\text{div} (\lambda \text{ grad} t) + q_v = 0 \quad (1)$$

t - temperatura

q_v - toplotna snaga po jedinici zapremine

λ - koeficijent toplotne provodljivosti

Gornja jednačina je rešena uz granične uslove treće vrste, pri čemu su korišćene sledeće pretpostavke:

1. Na posmatranom mestu ne postoji prenos toplote u aksijalnom pravcu.
2. Raspodela snage u radijalnom pravcu goriva je konstantna.
3. Koeficijent toplotne provodljivosti nije funkcija temperature.
4. Temperatura rashladnog fluida je ista sa obe strane goriva.
5. Raspodela snage u aksijalnom pravcu goriva je ista kao i raspodela fluksa (raspodela fluksa i ukupna snaga tehnološkog kanala su merene veličine).

Iz rešenja jednačine (1) se određuje položaj maksimuma temperature u gorivu. Na osnovu njegovog položaja određuju se gustine toplotnih flukseva kroz unutrašnju i spoljnu stranu gorivnog elementa, a iz njih, znajući koeficijente prenosa toplote (računati pomoću relacija 9.21 i 9.22 iz /1/), temperature košuljica gorivnih elemenata.

Pošto nam nije poznata prava vrednost toplotne provodljivosti λ nije se mogla odrediti tačna vrednost položaja maksimuma temperature. Ali to nije bitno uticalo na tačnost proračuna, jer se granične vrednosti položaja maksimuma temperature za $\lambda = \infty$ i $\lambda = 0$ malo razlikuju.

Mogućnost korišćenja graničnih vrednosti položaja maksimuma temperature sledi iz činjenice da je položaj maksimuma temperature monotono opadajuća funkcija koeficijenta toplotne provodljivosti.

Vrednosti položaja temperature su:

$$\begin{array}{ll} R_0 = 1,65 \text{ cm} & \text{za } \lambda = 0 \\ R_0 = 1,64 \text{ cm} & \text{za } \lambda = \infty \end{array}$$

Pošto je svrha proračuna određivanje maksimalno mogućih vrednosti temperatura, to je za račun uvek korišćenja nepovoljnija vrednost položaja maksimuma temperatura.

Izračunate vrednosti temperatura košuljica gorivnih elemenata i temperature teške vode u tehnološkom kanalu su prikazane na sl. 1.

Snaga kanala je bila 90 KW, a temperatura teške vode na ulazu u tehnološki kanal 30°C .

Cifre pokazuju položaj sredine odgovarajućeg gorivnog elementa, a odbrojavaju se od dna reaktora.

t_f - temperatura teške vode

t_c - temperatura košuljice gorivnog elementa
(u ovom slučaju je jednaka i za spoljašnju i unutrašnju košuljicu)

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I UPOREDJENJE IZMERENIH I PRORAČUNATIH VREDNOSTI

Vrednosti temperature košuljice dobijene teorijskim putem možemo uporediti sa vrednostima temperatura koje možemo dobiti jednostavnom analizom eksperimentalno dobijenih vrednosti.

Eksperimentalno su bile izmerene temperature košuljica gorivnih elemenata u tehnološkom kanalu 0509 pri instrumentalnoj snazi reaktora od 3,25 MW, pri čemu je snaga kanala bila 51,7 KW.

Eksperimentalni kanal je bio oformljen na sledeći način /3/: prva dva elementa su bila od 2% obogaćenog goriva, sledećih pet elemenata, koji su imali termoparove, su bili od 80% obogaćenog goriva, poslednja četiri elementa su, takodje bila od 2% obogaćenog goriva.

Rezultati merenja su dati na sl. 2.

Peti termopar je od samog početka davao neobične rezultate pa njegovo pokazivanje nije uzeto u obzir.

Na osnovu izmerenih vrednosti temperatura košuljica gorivnih elemenata može se, jednostavnom, analizom proceniti koliko će temperature biti pri snazi reaktora od 6,5 MW.

Ako pogledamo formulu za izračunavanje temperature košuljice gorivnog elementa:

$$t_c = \frac{q}{\alpha} + t_f$$

q - gustina toplotnog fluksa

α - koeficijent prenosa toplote,

videćemo da se ona sastoji iz dva člana.

Ako snaga gorivnog elementa poraste za dva puta prvi član će takodje porasti dva puta (radi jednostavnosti se pretpostavlja da se koeficijent prenosa toplote ne menja sa temperaturom, mada on raste).

Vrednost drugog člana ćemo pročitati sa grafita. Taj grafitt crtamo na osnovu temperatura teške vode na ulazu i izlazu tehnološkog kanala uzimajući da je temperatura teške vode približno linearna funkcija visine tehnološkog kanala, što sledi iz teorijskog proračuna.

Dobijeni rezultati su prikazani na sl. 3

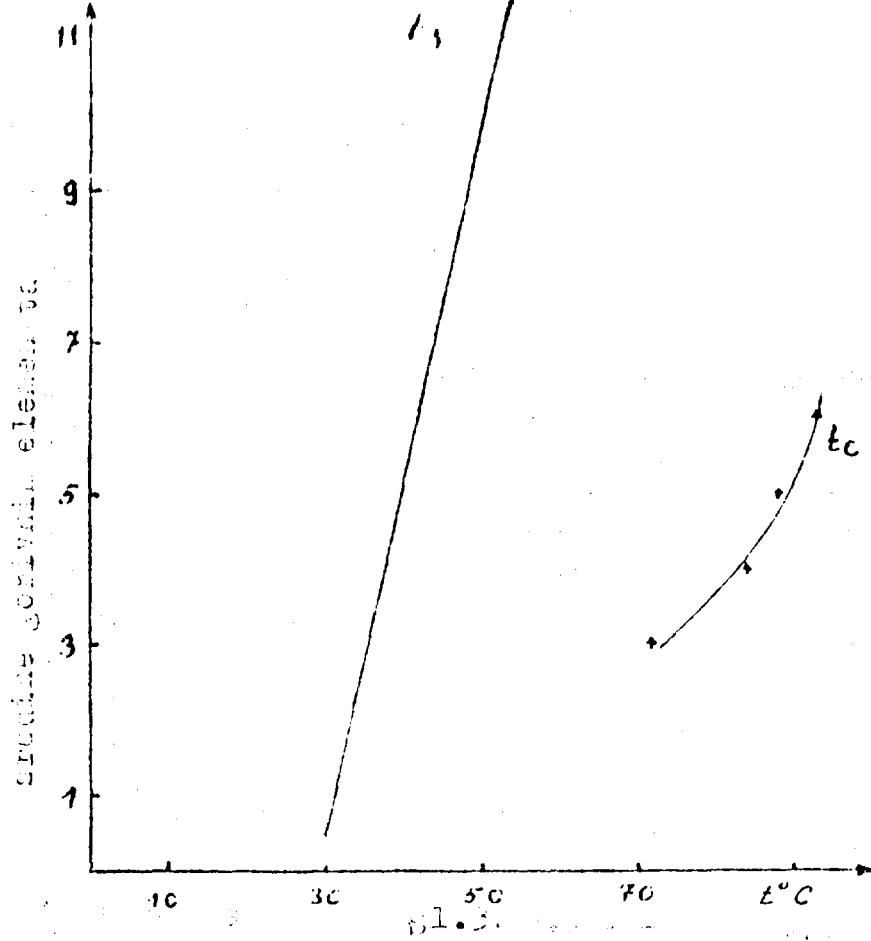
Na sl. 4 su date vrednosti temperatura košuljice gorivnih elemenata koje se dobijaju ako se uzme u obzir promena koeficijenta prenosa toplote sa temperaturom teške vode.

4. Z A K L J U Č A K

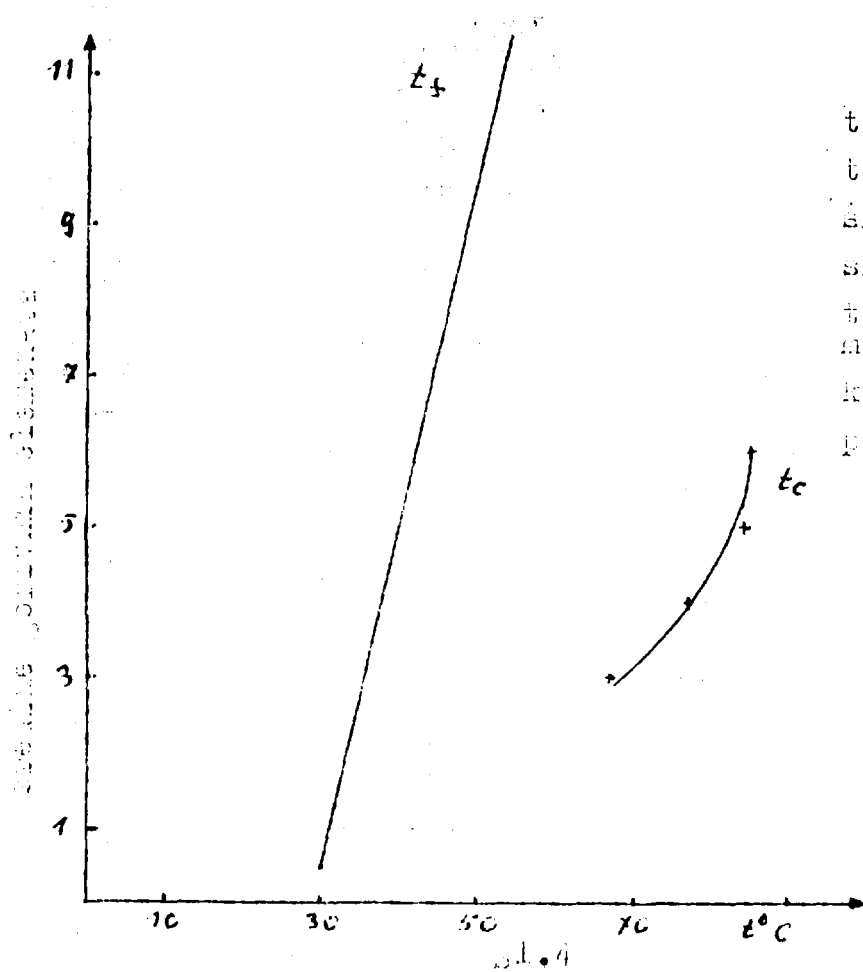
Kao što se vidi saglasnost teorijski računatih vrednosti i "procenjenih" vrednosti nije najbolja. Isto tako se vidi da su "procenjene" vrednosti manje od izračunatih. No, kako je svrha proračuna bila da se predvide maksimalno moguće vrednosti, tj. one vrednosti koje se u stvarnosti najverovatnije neće dostići, može se reći da je proračun dovoljno dobar.

Iz svih grafikona se jasno vidi da će temperature košuljica gorivnih elemenata biti daleko niža od temperature ključanja teške vode, koja pri uslovima koji vladaju na mestu maksimalne temperature iznosi oko 117°C /2/.

Prema tome, ubacivanje novog goriva u reaktor na pozicije slične kanalu 0703 je sasvim sigurno, jer rezerva na pothlađeno ključanje iznosi oko 30°C što je dovoljno.



t_1 - temperatura hladilice
 t_c - temperatura košuljice
 snaga reaktora 5,5 MW
 snaga kanala 103,4 MW
 t_c je procenjeno na osnovu postavke da koeficijent prenosa toplote ne raste sa temperaturom



t_1 - temperatura hladilice
 t_c - temperatura košuljice
 snaga reaktora 5,5 MW
 snaga kanala 103,4 MW
 t_c je procenjeno sa 10% smanjen u odnosu na zavisnost koeficijenta prenosa toplote od temperature



Naslov/autor	IBK -	RA ID -
V. Bulović, R. Martinc, S. Cupać:		103
PRORAČUN AKTIVNOSTI NEKIH IZOTOPA U VISOKOOBOGAĆENOM URANSKOM GORIVU REAKTORA RA, ZNAČAJNIH SA GLEDIŠTA	Datum	Broj strana
MOGUĆE KONTAMINACIJE OKOLINE	Feb. 1976.	47

Distribucija

Abstract

B. Perović
 V. Bulović 5 x
 B. Martinc 3 x
 S. Cupać 3 x
 M. Milošević
 M. Petrović
 D. Popović
 P. Strugar
 A. Borojević
 S. Kozomara
 J. Radivojević
 P. Radivojević
 RA-ID 10 x
 D. Stefanović
 M. Živanović
 Dj. Jović
 J. Draganić
 P. Anastasijević
 Z. Maksimović
 D. Cvetičanin

Izložene su osnove i prikazani su rezultati izvedenog proračuna aktivnosti tri grupe izotopa u gorivnom elementu reaktora RA sa 80% obogaćenim uranom-235.

Obuhvaćeni su:

- ^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{131}J , ^{132}J , ^{133}J ,
 ^{134}J , ^{135}J , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{138}Xe i
 ^{138}Cs , zatim,
- ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{91}Sr , ^{92}Sr , ^{95}Zr , ^{97}Zr ,
 ^{103}Ru , ^{105}Ru , ^{106}Ru , ^{129m}Te , ^{134}Cs ,
 ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{144}Ce , kao i
- ^{238}Pu , ^{239}Pu i ^{240}Pu .

Predpostavljeno je da se gorivo ozračuje na srednjem fluksu neutrona, a periodičnost rada reaktora je uvažavana.

Rezultati proračuna, dati u numeričkom obliku, sistematizovani su kao funkcija toka vremena ozračivanja goriva.

Ovi rezultati biće korišćeni kao izvorni podaci kod izrade sigurnosnih analiza za reaktor RA.

 Ovaj rad jeste interni izveštaj IBK-Odeljenje Nuklearni reaktor RA. Podaci iz ovog rada ne mogu biti objavljeni, reprodukovani ili korišćeni na drugi način bez odobrenja autora.

S A D R Ź A J

	Strana
1. UVOD	1
2. SELEKCIJA IZOTOPA	1
3. USLOVI I PRETPOSTAVKE	4
3.1. <u>Gorivo reaktora RA</u>	4
3.2. <u>Nuklearne reakcije</u>	4
3.2.1. <u>Urani i uranidi</u>	5
3.2.2. <u>Fisioni produkti</u>	5
3.3. <u>Ozračivanje goriva</u>	6
4. KVANTITATIVNE RELACIJE	7
5. NUKLEARNI PODACI	9
6. REZULTATI	9
7. LITERATURA	11
8. PRILOZI	12

1. U V O D

Proračun aktivnosti nastalih radioaktivnih izotopa u ozračenom nuklearnom gorivu je obiman, složen i u izvesnom smislu nerešiv problem.

Naime, sagorevanjem nuklearnog goriva nastaje vrlo veliki broj izotopa transuranskih elemenata i fisionih produkata, a neki od njih još nisu ni identifikovani. Tako, na primer, u opsegu koji se proteže od 80 do 156 masenih jedinica, iz teorijskih studija očekuje se da nastaje 671 fisioni produkt, a približno 333 još nisu identifikovana /1/. Zatim, aktivnost nekog od ovih izotopa, usled mogućnosti odvijanja niza nuklearnih reakcija među tim izotopima, u manjoj ili većoj meri zavisi i od sadržaja mnogih od posmatranih izotopa. I na kraju, potrebni nuklearni podaci o identifikovanim izotopima, koji se koriste pri proračunu njihove aktivnosti, u najpovoljnijem slučaju, poznati su sa greškom od oko 1-20% /2, 3/.

Iz tih razloga, rigorozan proračun aktivnosti svih radioaktivnih izotopa koji nastaju u procesu sagorevanja nuklearnog goriva nije moguć, a moguć je proračun aktivnosti samo dela tih izotopa, i to samo proračun njihove aktivnosti sa ograničenim stepenom tačnosti.

2. SELEKCIJA IZOTOPA

Svi izotopi koji nastaju u nuklearnom gorivu nisu od podjednakog značaja sa stanovišta humane bezbednosti. Najznačajnije su tri grupe izotopa, i to:

a) Prvu grupu sačinjavaju oni fisioni produkti koji, odmah po pretpostavljenom akcidentu, imaju najveću verovatnoću "izlaska" iz prethodno zatvorenog sistema i koji, u isto vreme, mogu da dovedu do najveće kontaminacije okoline.

Ponajznačajniji među njima su: ^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{131}J , ^{132}J , ^{133}J , ^{134}J , ^{135}J , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{138}Xe i ^{138}Cs .

b) Drugu sačinjavaju oni duže-živeći fisioni produkti koji imaju ponajveće prinose. U toku sagorevanja goriva, ti fisioni produkti se nagomilavaju u znatnijim količinama i u slučaju akcidenta oni mogu dovesti do znatnije i trajnije kontaminacije okoline. Ponajznačajniji među njima su: ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{91}Sr , ^{92}Sr , ^{95}Zr , ^{97}Zr , ^{103}Ru , ^{105}Ru , ^{106}Ru , ^{129m}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba i ^{144}Ce .

c) I na kraju, treću grupu čine izotopi, i to alfa-radioaktivni izotopi izrazito toksičnog plutonijuma. Ponajznačajniji među njima su ^{238}Pu , ^{239}Pu i ^{240}Pu .

Sadržaj svake od definisanih grupa izotopa je u toliko proizvoljan, što se on bar unekoliko može povećavati ili smanjivati. Navedeni nizovi izotopa kod prvih dveju grupa izotopa uključuju a) sve one fisione produkte koji su izmereni u hladioču ardeiske nuklearne elektrane (Tab.1.), kao i b) sve one fisione produkte koje sugerišu M. Laser i E. Merz /4/. Treća grupa izotopa uključuje tri, po alfa-aktivnosti, daleko najradioaktivnija izotopa plutonijuma u gorivu reaktora RA.

Tabela 1.

Relativno izražena aktivnost fislonih produkata u hladioeu C N A^(a).

I z o t o p	Vreme poluraspada	Relativno izražena aktivnost, %
^{85m} K _r	4,4 č	3
⁸⁸ K _r	2,8 d	4
¹³¹ J	8,05 d	0,7
¹³² J	2,3 č	1,4
¹³³ J	21 č	2,5
¹³⁴ J	52,8 m	1,1
¹³⁵ J	6,7 č	0,8
¹³³ Xe	5,27 d	67
¹³⁵ Xe	9,2 č	17
¹³⁸ Cs	32 m	3
Z b i r:		100,5
⁹⁵ Zr	65 d	23
¹⁰³ Ru	39,6 d	17
¹³⁴ Cs	2,06 g	28
¹³⁷ Cs	30 g	32
Z b i r:		100

a) Ardenska nuklearna elektrana, snage 250 M We /2/.

3. USLOVI I PRETPOSTAVKE

Sadržaj nekog od posmatranih izotopa u ozračenom gorivu zavisi od:

- kvalitativnog i kvantitativnog sastava neozračenog goriva;
- broja i kvantitativnog značaja (prinosu) onih reakcija kroz koje taj izotop nastaje ili nestaje; i
- uslova ozračivanja goriva.

Pored toga, sadržaj onih izotopa koji nastaju iz urana-238, zavisi od efektivne vrednosti rezonantnog integrala za zahvat epitermalnih neutrona uranom-238. Na veličinu te vrednosti, osim sastava goriva, utiču još i oblik i dimenzije goriva u gorivnom elementu.

3.1. Gorivo reaktora RA

Najmanja celina goriva reaktora RA je njegov gorivni element /5/* . Gorivo u gorivnom elementu je u obliku cevi, i njegova zapremina iznosi $19,8 \text{ cm}^3$.

Posmatrano gorivo je sačinjeno od oksida visoko-obogaćenog urana, u kome zastupljenost urana-235 iznosi 80.0 at%, i aluminijuma. Sadržaj urana-235 u gorivnom elementu iznosi 7,7 gr.

3.2. Nuklearne reakcije

U nuklearnom gorivu, u toku njegovog sagorevanja, istovremeno se odvija vrlo veliki broj elementarnijih nuklearnih procesa koji vode nastajanju i nestajanju velikog broja izotopa.

* Po obliku i dimenzijama, gorivni element reaktora RA sa 80%-nim uranom-235 je identičan gorivnom elementu sa 2%-nim uranom-235.

Nastajanje i nestajanje nekog izotopa, najčešće ili bar u najvećoj meri, određeno je odvijanjem samo manjeg broja, po tom izotop najznačajnijih nuklearnih reakcija.

Relativni kvantitativni značaj pojedinih reakcija određen je sastavom goriva, fluksom i energijom neutrona, a zatim, i vrednostima nuklearnih veličina (preseki, prinosi, konstante raspada itd.) kod posmatranih izotopa.

3.2.1. Urani i uranidi

Sagorevanjem uranskog goriva nastaju izotopi uranida i fisioni produkti. Neozračivani uran sačinjavaju tri njegova izotopa, i to: ^{234}U , ^{235}U i ^{238}U . Iz svakog od ovih izotopa nastaju i uranidi i fisioni produkti. Samo, njihovi doprinosi su veoma različiti. Tako, u reaktoru RA, kod posmatranog uranskog goriva, više od 99% sadržaja fisionih produkata i veći deo sadržaja uranida - nastaje iz urana-235, manji deo sadržaja uranida nastaje iz urana-238, a samo neznatan njihov deo nastaje iz urana-234. Zbog toga mi usvajamo da se sagorevanje posmatranog goriva odvija preko dve složene reakcije sa Sl.1 i da fisioni produkti nastaju samo fisijom urana-235.

3.2.2. Fisioni produkti

Fisijom nuklida urana-235 nastaje više desetina nizova (lanaca) fisionih produkata /6/. Svaki od nastalih fisionih produkata pripada jednom od ovih nizova. U principu; on nastaje a) neposredno iz fisije, b) preko beta-raspada prethodnih članova lanca ili c) na oba ova načina; a nestaje d) radioaktivnim raspadom, e) preko (n, γ) reakcije* ili f) na oba ova načina.

* Zbog toga, deo članova lanca koji ima redni broj N, preko jednostrukih ili višestrukih (n, γ) reakcija može nastati i iz članova lanaca koji imaju redni broj manji od N.

Kao prvo, nastajanje i nestajanje članova jednog te istog lanca tretiramo kao funkciju vremena. Kao najmanju jedinicu vremena uzimamo period vremena ozračivanja goriva pri konstantnoj snazi reaktora, a on nije kraći od desetak dana (deo 3.3). Zanimarimo nagomilavanje onih predaka čije je vreme poluraspada desetak puta kraće od vremena poluraspada posmatranog potomka, i to zanemarivanje izvodimo samo onda kada su vremena poluraspada predaka kraća od oko jednog dana^{*}. To je jedna od osnova selekcije reakcija za Sl.2.

I kao drugo, poredjen je kvantitativni značaj dvaju, i to dvostruko paralelnih procesa kod jednog izotopa, i to procesa radioaktivnih transformacija i procesa "aktivacija"^{**}. Značaj tih dvaju procesa, kao po pravilu, nije podjednak. Kada je značaj procesa "aktivacija" stotinak puta manji od značaja procesa radioaktivnih transformacija, proces "aktivacija" je zanemaran, i to je druga od osnova selekcije reakcija za Sl.2.

3.3. Ozračivanje goriva

Tok i bilans procesa sagorevanja u nekom deliću goriva, medju ostalim, odredjen je spektrom i fluksom neutrona u tom deliću goriva, kao funkcijom vremena.

Snaga reaktora srazmerna je fluksu neutrona u reaktoru (usrednjenom po zapremini), pri čemu faktor srazmernosti zavisi (pored ostalog) od srednjeg izgaranja goriva u reaktoru. Obrnuto, fluks neutrona u nekoj tački reaktora srazmeran je snazi reaktora, pri čemu faktor srazmernosti (pored ostalog) zavisi od prostorne raspodele izgaranja goriva u reaktoru.

* Doprinos ovog zanemarivanja grešci krajnjeg rezultata proračuna aktivnosti nije veći od oko 1%.

** U principu, izotop u isto vreme i nastaje i nestaje preko dvaju posmatranih procesa.

Reaktor RA radi periodično, njegovo dovodjenje na snagu izvodi se početkom skoro svakog meseca* i na nominalnoj snazi (od 6,5 MW) on radi 19 dana i noći, neprekidno.

Fluks neutrona u posmatranom deliću goriva zavisi i od njegovog položaja u jezgri reaktora. Zavisno od tog položaja, a pri nominalnoj snazi reaktora, on se nalazi između 1×10^{13} i $1 \times 10^{14} \text{ ncm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. Prosečna vrednost fluksa neutrona za jezgro reaktora, pa i za posmatrani reprezentativni gorivni element, i to pri istoj snazi reaktora, kao i postignutoj planiranoj ravnotežnoj prostornoj raspodeli izgaranja goriva u reaktoru, iznosi oko $4,2 \times 10^{13} \text{ ncm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$.

Reaktor RA spada među reaktore sa dobro termalizovanim neutronima, za veći deo njegovog jezgra učešće epitermalnih neutrona u fluksu reaktorskih neutrona iznosi 0.04, te tu vrednost usvajamo i za posmatrani reprezentativni gorivni element.

4. KVANTITATIVNE RELACIJE

Sadržaj izabranih izotopa u jedinici zapremine ozračenog goriva zavisi od početnog sastava goriva. Broj atoma urana-235 u jedinici zapremine goriva (cm^3) računat je iz sadržaja urana-235 u gorivnom elementu i zapremine gorivnog elementa, a sadržaj urana-238 - po zanemarivanju urana-234 - odredjivan je iz zastupljenosti urana-238, zastupljenosti urana-235 i sadržaja urana-235. Svi ostali izotopi su zanemarivani.

Sadržaj izabranih izotopa zavisi i od uslova ozračivanja goriva. Nastajanje i nestajanje nekog od ovih izotopa u nekom od perioda vremena sa konstantnim fluksom neutrona odredjivano je primenom dvostruko modifikovane i proširene jed. (8.2) iz Glava XI, ref. /7/.

* Izuzetan je mesec avgust, kada reaktor ne radi.

Prva modifikacija jed. (8.2) iz ref. /7/ odnosi se na promenu značenja veličine λ u brojiocima razlomaka jed. (8.2 b). U modifikovanoj jednačini ovaj λ označava verovatnoću nastajanja posmatranog člana lanca iz prvog prethodnog člana lanca^{*}, preko reakcije fisije, preko (n, f) reakcije ili preko radioaktivnog raspada.

Druga modifikacija jed. (8.2) iz ref. /7/ odnosi se na promenu značenja veličine λ u imeniocima razlomaka jed. (8.2 b). U modifikovanoj jednačini ovo λ označava zbirnu verovatnoću nestajanja posmatranog člana lanca preko reakcije fisije, preko (n, γ) reakcije i preko radioaktivnog raspada, ukoliko je svaka od ovih reakcija zastupljena kod posmatranog člana lanca.

Proširenje jed. (8.2) iz ref. /7/ se odnosi na promenu uslova u pogledu početnog sadržaja članova posmatranog lanca. Naime, u jed. (8.2) iz ref. /7/ početni sadržaj samo prvog člana posmatranog lanca nije jednak nuli, a u proširenoj jednačini početni sadržaj ni jednog od članova tog lanca ne mora biti jednak nuli. To proširenje je ostvareno na način koji je sugerisan u Delu 7a, Glave XV iz ref. /7/.

I na kraju, sadržaj posmatranih izotopa u gorivu zavisi još i od veličine efikasnih preseka reakcija sa reaktorskim neutronima, kao funkcije energije reaktorskih neutrona. Reaktor RA spada među reaktore sa dobro termalizovanim neutronima, te su ti preseki određivani primenom Vestkovog formalizma /8,9/.

*

Ideks se pomera, tj. odnosi se na prvi prethodni član lanca, a dimenzija veličine (t^{-1}) - ostaje ista.

5. NUKLEARNI PODACI

Sadržaj izabranih izotopa u ozračenom gorivu odredjivan je primenom proširene i modifikovane jed. (8.2) iz Glave XIV, ref. /7/. U toj jednačini, kao parametri, figurišu njihove konstante raspada, prinosi fisionih produkata iz fisije urana-235, a zatim, i efikasni preseći reakcija sa reaktorskim neutronima.

Konstante raspada posmatranih izotopa odredjivane su iz njihovih vremena poluraspada, korišćenjem podataka iz ref. /10/ ili ref. /11/.

Prinosi fisionih produkata iz fisije urana-235 sa termalnim neutronima, preuzeti su iz ref. /12/ (Recommended values).

Efikasni preseći reakcija sa reaktorskim neutronima, primenom Veskovog formalizma, odredjivani su na osnovu podataka iz ref. /13/ ili ref. /9/. Izuzetno, zbog nedostatka potrebnih podataka, kod članova lanaca iz koga nastaje plutonijum-238 (Sl.1), ti preseći su zamenjeni sa presecima za termalne neutrone ($t = 20,4^{\circ}\text{C}$), korišćenjem podataka iz ref. /11/.

6. REZULTATI

Dobijeni rezultati, u vidu niza tabela, dati su u prilogu. Svi ti rezultati su sistematizovani prema rednom broju kampanje rada reaktora, odnose se na poslednji trenutak vremena u kampanji, a kampanju odredjuje onaj (neprekidni) period vremena u kome se snaga reaktora ne menja.

Tab. 2. sistematizuje podatke o radu reaktora u posmatranom periodu, a Tab. 3 daje rezultate proračuna izgaranja goriva, koje je, ovde, izraženo na nekoliko uobičajenih načina.

Rezultati proračuna aktivnosti svakog od izabranih izotopa (Deo 2.) sistematizovani su u tabelama 4 - 32, a njihova ukupna aktivnost je data u Tab. 33.

Podaci sa Tab.2. (o radu reaktora) i Tab.3. (o izgaranju goriva) nisu usaglašeni, što je posledica pretpostavke o konstantnom odnosu fluksa i snage za reaktor sa veoma različitim stepenom srednjeg izgaranja goriva. To međutim, ne umanjuje iskoristljivost podataka iz Tabela 4 - 33 kod analize realnog jezgra reaktora RA sa određenim ravnotežnim režimom izgaranja.

Najmanja nedeljiva celina goriva reaktora RA je njegov gorivni element, te su aktivnosti izabranih izotopa deklarirane u kirijima po gorivnom elementu.

Dobijene aktivnosti mogu biti pogrešne iz dva razloga i to:

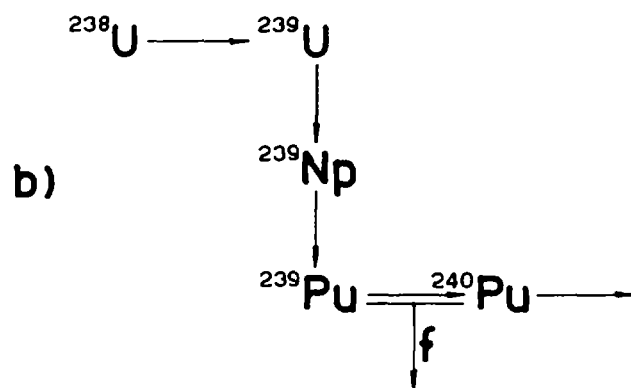
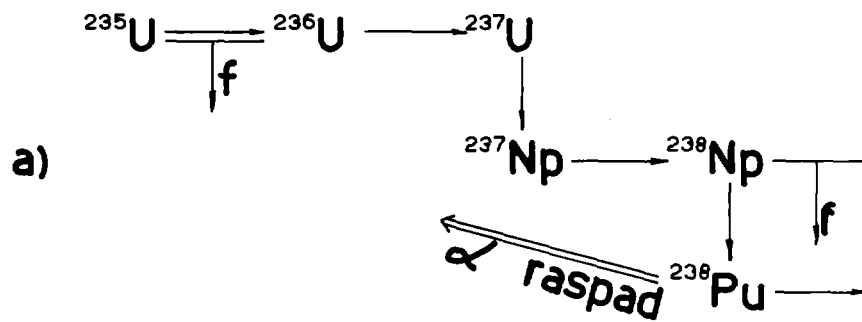
1. Zbog učinjenih zanemarivanja (Deo 3 i Deo 4) i
2. Usled grešaka korišćenih podataka (deo 5).

Procenjujemo da, iz oba razloga, verovatne greške dobijenih rezultata najčešće iznose 10-30%. Izuzetno, kod plutonijuma-238, usled zamene preseka reakcija sa reaktorskim neutronima - sa presecima tih istih reakcija sa termalnim neutronima (Deo 5), ta greška bi mogla biti i znatno veća.

7. L I T E R A T U R A :

1. M.R.Iyer, D.N.Sharma, A.K.Ganguly, Report IAEA-169 (1974), Vol.I, p.29.
2. C.Deuillers, Report IAEA-169 (1974), Vol.I, p.83.
3. W.J.Maeck, Report IAEA-169 (1974), Vol.I, p.163.
4. M.Laser, E.Merz, Report IAEA-169 (1974), Vol.III, p.3.
5. Directory of Nuclear Reactors, IAEA, Vienna 1966, Vol.V, p.217.
6. S.Katcoff, *Nuclear Engineering*, 18 (Nov.1960) 201.
7. R.D.Evans, *The Atomic Nucleus*, McGraw-Hill Book Comp., Inc., New York 1955.
8. C.G.Westcott, W.H.Walker, T.K.Alexander, 2nd UN Int.Conf. PUAE, A/CONF., 15/P/ 202.
9. C.H.Westcott, Report AECL-670 (1958).
10. M.Lammer, Report IAEA-169 (1974), Vol.III, p.339.
11. C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Perlman, *Table of Isotopes*, Sixth edition, John Wiley & Sons, Inc., New York 1968.
12. W.H.Walker, Report IAEA-169 (1974), Vol.I, p.285.
13. A.L.Pope, J.S.Story, Report IAEA-169 (1974), Vol.III, p.163.

8. P R I L O Z I



OZNAKE

$\xrightarrow{(n,\gamma)}$
 REAKCIJA

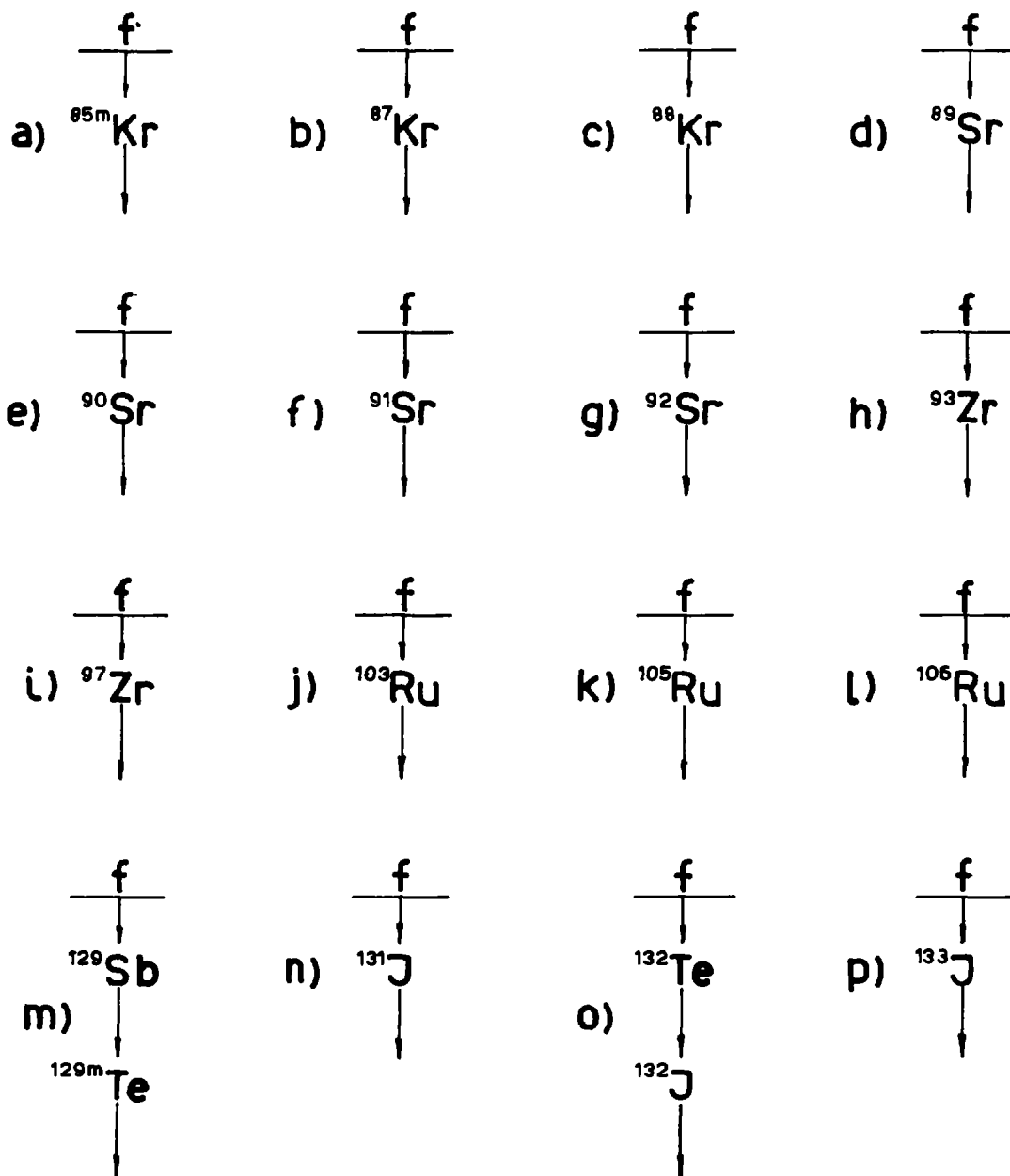
;

$\xrightarrow{f}$
 REAKCIJA
 FISIJE

;

$\downarrow \alpha$
 RASPAD

SI.1.- NAJZNAČAJNIJE REAKCIJE NAJZNAČAJNIJIH NUKLIDA TEŠKIH ATOMA U VISOKO OBOGAĆENOM GORIVU REAKTORA



$\xrightarrow{(\text{n}, \gamma)}$
REAKCIJA

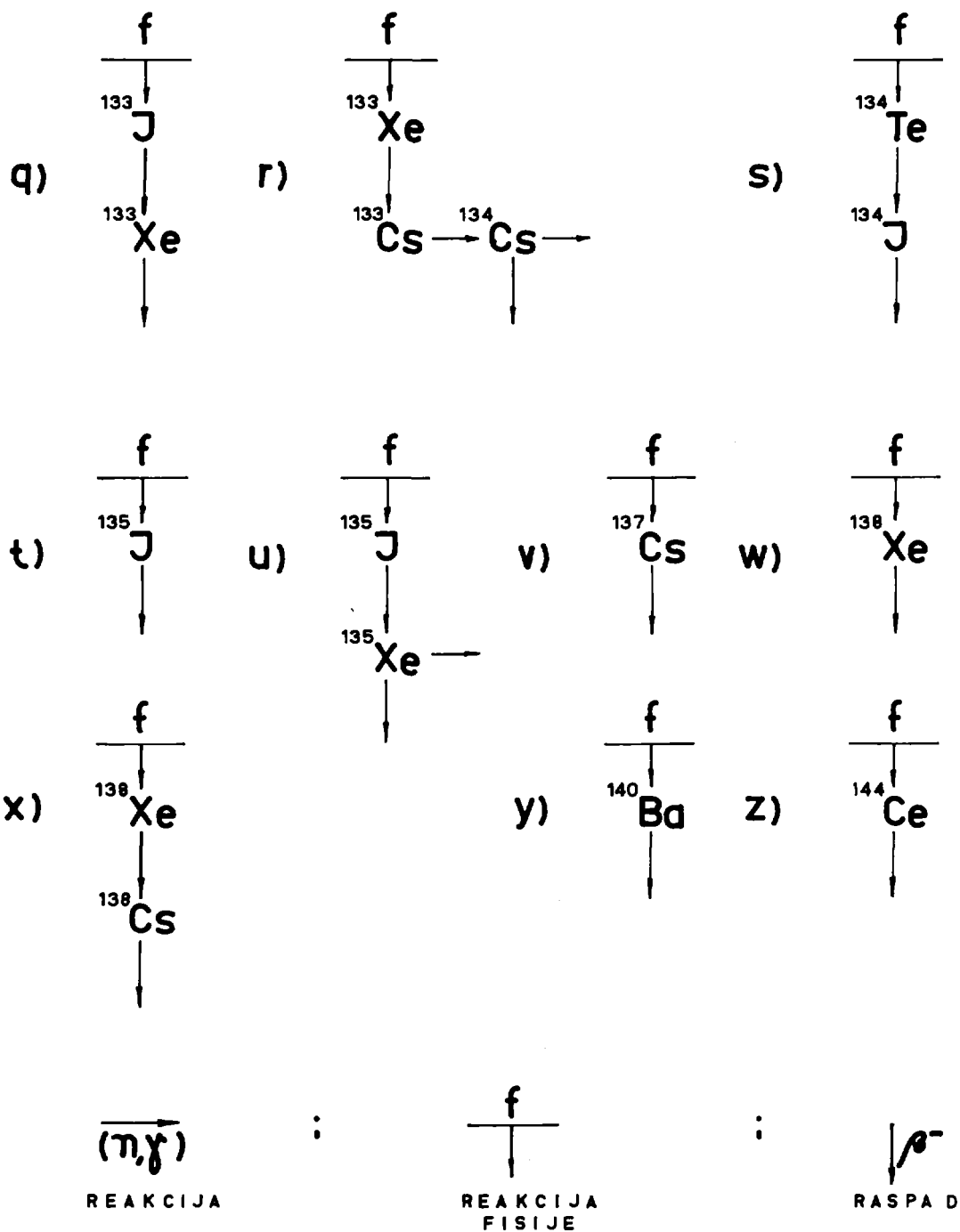
:

$\begin{array}{c} \text{f} \\ \downarrow \end{array}$
REAKCIJA
FISIJE

:

$\downarrow \beta^-$
RASPAD

SI. 2a NASTAJANJE I NESTAJANJE JEDNOG DELA POSMATRANIH
FISIONIH PRODUKATA U PROCESU SAGOREVANJA GORIVA



SI.2b NASTAJANJE I NESTAJANJE I DRUGOG DELA POSMATRANIH FISIONIH PRODUKATA U PROCESU SAGOREVANJA GORIVA

TABELA II - RAD REAKTORA

REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	12.00	19.00	10.00	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	12.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	19.00	31.00	50.00	60.00	79.00	91.00	110.00	121.00	140.00	152.00
UKUPNI RAD, U MWD	123.50	123.50	247.00	247.00	370.50	370.50	494.00	494.00	617.50	617.50
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	11.00	19.00	43.00	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	11.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	171.00	192.00	201.00	244.00	263.00	274.00	293.00	305.00	324.00	335.00
UKUPNI RAD, U MWD	741.00	741.00	864.50	864.50	988.00	988.00	1111.50	1111.50	1235.00	1235.00
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	9.00	19.00	12.00	19.00	11.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	354.00	365.00	384.00	396.00	415.00	424.00	443.00	455.00	474.00	485.00
UKUPNI RAD, U MWD	1358.50	1358.50	1482.00	1482.00	1605.50	1605.50	1729.00	1729.00	1852.50	1852.50
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	43.00	19.00	11.00	19.00	12.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	524.00	516.00	535.00	546.00	565.00	608.00	627.00	638.00	657.00	669.00
UKUPNI RAD, U MWD	1976.00	1976.00	2099.50	2099.50	2223.00	2223.00	2346.50	2346.50	2470.00	2470.00
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	11.00	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	9.00	19.00	12.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	688.00	699.00	718.00	729.00	748.00	760.00	779.00	788.00	807.00	819.00
UKUPNI RAD, U MWD	2593.50	2593.50	2717.00	2717.00	2840.50	2840.50	2964.00	2964.00	3087.50	3087.50
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	43.00	19.00	11.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	838.00	849.00	868.00	880.00	899.00	910.00	929.00	972.00	991.00	1002.00
UKUPNI RAD, U MWD	3211.00	3211.00	3334.50	3334.50	3458.00	3458.00	3581.50	3581.50	3705.00	3705.00
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	9.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	1021.00	1033.00	1052.00	1063.00	1082.00	1093.00	1112.00	1124.00	1143.00	1152.00
UKUPNI RAD, U MWD	3828.50	3828.50	3952.00	3952.00	4075.50	4075.50	4199.00	4199.00	4322.50	4322.50
REDNI BROJ KAMPANJE, NO.	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
NJENO TRAJANJE, U DANIMA	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	12.00	19.00	11.00	19.00	43.00
SNAGA REAKTORA, U MW	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00	6.50	0.00
UKUPNO VREME, U DANIMA	1171.00	1183.00	1202.00	1213.00	1232.00	1244.00	1263.00	1274.00	1293.00	1336.00
UKUPNI RAD, U MWD	4446.00	4446.00	4569.50	4569.50	4693.00	4693.00	4816.50	4816.50	4940.00	4940.00

TABELA III - IZGARANJE GORIVA

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GUSTINA FISIJE	3.77+019	3.77+019	7.38+019	7.38+019	1.08+020	1.08+020	1.41+020	1.41+020	1.72+020	1.72+020
STEPEN IZGARANJA	0.030	0.030	0.059	0.059	0.087	0.087	0.113	0.113	0.138	0.138
STEP. OSIR. U-235	0.045	0.045	0.088	0.088	0.130	0.130	0.169	0.169	0.207	0.207
IZGARANJE, MWD/T	2.90+004	2.90+004	5.67+004	5.67+004	8.31+004	8.31+004	1.08+005	1.08+005	1.32+005	1.32+005
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GUSTINA FISIJE	2.02+020	2.02+020	2.31+020	2.31+020	2.58+020	2.58+020	2.84+020	2.84+020	3.09+020	3.09+020
STEPEN IZGARANJA	0.162	0.162	0.185	0.185	0.207	0.207	0.228	0.228	0.248	0.248
STEP. OSIR. U-235	0.242	0.242	0.277	0.277	0.309	0.309	0.341	0.341	0.371	0.371
IZGARANJE, MWD/T	1.55+005	1.55+005	1.77+005	1.77+005	1.98+005	1.98+005	2.18+005	2.18+005	2.37+005	2.37+005
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
GUSTINA FISIJE	3.33+020	3.33+020	3.56+020	3.56+020	3.77+020	3.77+020	3.98+020	3.98+020	4.18+020	4.18+020
STEPEN IZGARANJA	0.267	0.267	0.285	0.285	0.303	0.303	0.319	0.319	0.335	0.335
STEP. OSIR. U-235	0.399	0.399	0.426	0.426	0.452	0.452	0.477	0.477	0.501	0.501
IZGARANJE, MWD/T	2.56+005	2.56+005	2.73+005	2.73+005	2.90+005	2.90+005	3.06+005	3.06+005	3.21+005	3.21+005
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
GUSTINA FISIJE	4.37+020	4.37+020	4.55+020	4.55+020	4.72+020	4.72+020	4.88+020	4.88+020	5.04+020	5.04+020
STEPEN IZGARANJA	0.350	0.350	0.365	0.365	0.379	0.379	0.392	0.392	0.404	0.404
STEP. OSIR. U-235	0.523	0.523	0.545	0.545	0.565	0.565	0.585	0.585	0.604	0.604
IZGARANJE, MWD/T	3.35+005	3.35+005	3.49+005	3.49+005	3.62+005	3.62+005	3.75+005	3.75+005	3.87+005	3.87+005
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
GUSTINA FISIJE	5.19+020	5.19+020	5.33+020	5.33+020	5.47+020	5.47+020	5.60+020	5.60+020	5.72+020	5.72+020
STEPEN IZGARANJA	0.416	0.416	0.428	0.428	0.439	0.439	0.449	0.449	0.459	0.459
STEP. OSIR. U-235	0.622	0.622	0.639	0.639	0.655	0.655	0.671	0.671	0.686	0.686
IZGARANJE, MWD/T	3.98+005	3.98+005	4.09+005	4.09+005	4.20+005	4.20+005	4.30+005	4.30+005	4.39+005	4.39+005
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
GUSTINA FISIJE	5.84+020	5.84+020	5.95+020	5.95+020	6.06+020	6.06+020	6.16+020	6.16+020	6.26+020	6.26+020
STEPEN IZGARANJA	0.469	0.469	0.478	0.478	0.486	0.486	0.495	0.495	0.503	0.503
STEP. OSIR. U-235	0.700	0.700	0.713	0.713	0.726	0.726	0.739	0.739	0.751	0.751
IZGARANJE, MWD/T	4.49+005	4.49+005	4.57+005	4.57+005	4.66+005	4.66+005	4.73+005	4.73+005	4.81+005	4.81+005
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
GUSTINA FISIJE	6.36+020	6.36+020	6.45+020	6.45+020	6.53+020	6.53+020	6.62+020	6.62+020	6.69+020	6.69+020
STEPEN IZGARANJA	0.510	0.510	0.517	0.517	0.524	0.524	0.531	0.531	0.537	0.537
STEP. OSIR. U-235	0.762	0.762	0.773	0.773	0.783	0.783	0.793	0.793	0.802	0.802
IZGARANJE, MWD/T	4.88+005	4.88+005	4.95+005	4.95+005	5.02+005	5.02+005	5.08+005	5.08+005	5.14+005	5.14+005
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
GUSTINA FISIJE	6.77+020	6.77+020	6.84+020	6.84+020	6.91+020	6.91+020	6.97+020	6.97+020	7.03+020	7.03+020
STEPEN IZGARANJA	0.543	0.543	0.549	0.549	0.554	0.554	0.560	0.560	0.565	0.565
STEP. OSIR. U-235	0.811	0.811	0.820	0.820	0.828	0.828	0.836	0.836	0.843	0.843
IZGARANJE, MWD/T	5.20+005	5.20+005	5.25+005	5.25+005	5.31+005	5.31+005	5.36+005	5.36+005	5.40+005	5.40+005

TABELA IV - AKTIVNOST (A) KR-85M

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.91+002	5.43-18	1.81+002	9.37-15	1.73+002	4.95-018	1.65+002	2.01-016	1.58+002	4.51-018
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	1.51+002	1.83-16	1.44+002	1.34-008	1.37+002	1.67-016	1.31+002	3.75-018	1.25+002	1.52-016
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	1.19+002	1.45-10	1.14+002	3.26-18	1.09+002	2.39-13	1.04+002	2.97-018	9.92+001	1.21-016
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	9.47+001	2.71-018	9.04+001	1.11-10	8.83+001	8.06-069	8.24+001	1.00-016	7.87+001	2.25-018
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	7.51+001	9.14-17	7.17+001	8.73-17	8.85+001	1.96-18	6.54+001	1.44-013	6.24+001	1.79-018
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	5.96+001	7.26-17	5.69+001	1.03-18	5.43+001	6.61-17	5.19+001	4.84-069	4.95+001	6.03-017
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	4.73+001	1.35-018	4.52+001	5.50-17	4.31+001	5.25-17	4.12+001	1.18-018	3.93+001	8.65-014
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	3.75+001	1.07-018	3.58+001	4.36-17	3.42+001	9.79-19	3.27+001	3.97-17	3.12+001	2.91-069

TABELA V - AKTIVNOST (A) KR=87

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: U KIRIJIMA	3.66+002	2.49-066	3.50+002	5.47-055	3.34+002	2.27-066	3.19+002	1.04-060	3.04+002	2.07-006
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A: U KIRIJIMA	2.90+002	9.48-061	2.77+002	1.51-042	2.65+002	8.64-061	2.53+002	1.72-060	2.41+002	7.88-061
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A: U KIRIJIMA	2.30+002	7.52-061	2.20+002	1.50-086	2.10+002	1.57-049	2.01+002	1.37-066	1.92+002	6.25-061
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A: U KIRIJIMA	1.83+002	1.25-066	1.75+002	5.70-061	1.67+002	9.06-243	1.59+002	5.19-061	1.52+002	1.03-066
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A: U KIRIJIMA	1.45+002	4.73-061	1.39+002	4.52-061	1.32+002	9.01-007	1.26+002	9.46-050	1.21+002	8.21-067
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A: U KIRIJIMA	1.15+002	3.76-061	1.10+002	7.48-067	1.05+002	3.42-061	1.00+002	5.45-243	9.56+001	3.12-061
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A: U KIRIJIMA	9.13+001	6.22-067	8.72+001	2.85-061	8.32+001	2.72-061	7.95+001	5.41-067	7.59+001	5.69-050
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A: U KIRIJIMA	7.25+001	4.93-067	6.92+001	2.26-061	6.60+001	4.50-067	6.31+001	2.06-061	6.02+001	3.27-243

TABELA VI - AKTIVNOST (A) KR-88

NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	1 5.20+002	2 5.75-029	3 4.96+002	4 7.92-024	5 4.74+002	6 5.24-029	7 4.52+002	8 1.90-024	9 4.32+002	10 4.77-029
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	11 4.12+002	12 1.73-026	13 3.94+002	14 4.65-109	15 3.76+002	16 1.58-026	17 3.59+002	18 3.97-029	19 3.43+002	20 1.44-026
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	21 3.27+002	22 1.37-026	23 3.12+002	24 3.45-029	25 2.98+002	26 1.81-021	27 2.85+002	28 3.15-029	29 2.72+002	30 1.14-026
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	31 2.60+002	32 2.87-029	33 2.48+002	34 1.04-026	35 2.37+002	36 2.80-109	37 2.26+002	38 9.49-027	39 2.16+002	40 2.38-029
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	41 2.06+002	42 8.65-027	43 1.97+002	44 8.26-027	45 1.88+002	46 2.08-029	47 1.79+002	48 1.09-021	49 1.71+002	50 1.89-029
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	51 1.63+002	52 6.86-027	53 1.56+002	54 1.72-029	55 1.49+002	56 6.26-027	57 1.42+002	58 1.68-109	59 1.36+002	60 5.70-027
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	61 1.30+002	62 1.43-029	63 1.24+002	64 5.20-027	65 1.18+002	66 4.96-027	67 1.13+002	68 1.25-029	69 1.08+002	70 6.53-022
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	71 1.03+002	72 1.14-029	73 9.82+001	74 4.12-027	75 9.38+001	76 1.04-029	77 8.95+001	78 3.76-027	79 8.55+001	80 1.01-109

TABELA VII - AKTIVNOST (A) SR-69

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.62+002	1.37+002	2.60+002	2.27+002	3.22+002	2.73+002	3.51+002	3.02+002	3.67+002	3.11+002
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	3.68+002	3.17+002	3.66+002	2.03+002	2.73+002	2.35+002	2.93+002	2.48+002	2.98+002	2.56+002
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	2.99+002	2.57+002	2.95+002	2.51+002	2.86+002	2.53+002	2.83+002	2.40+002	2.70+002	2.32+002
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	2.59+002	2.20+002	2.47+002	2.12+002	2.37+002	1.31+002	1.71+002	1.47+002	1.81+002	1.53+002
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	1.82+002	1.57+002	1.82+002	1.56+002	1.79+002	1.52+002	1.73+002	1.53+002	1.71+002	1.45+002
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	1.62+002	1.40+002	1.56+002	1.32+002	1.48+002	1.28+002	1.43+002	7.90+001	1.03+002	8.87+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	1.09+002	9.22+001	1.10+002	9.42+001	1.09+002	9.40+001	1.08+002	9.12+001	1.04+002	9.17+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.03+002	8.71+001	9.76+001	8.40+001	9.39+001	7.96+001	8.92+001	7.67+001	8.57+001	4.75+001

TABELA VIII - AKTIVNOST (A) SR-90

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.11+000	1.11+000	2.17+000	2.17+000	3.18+000	3.18+000	4.14+000	4.14+000	5.06+000	5.05+000
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	5.93+000	5.93+000	6.76+000	6.74+000	7.54+000	7.53+000	8.29+000	8.28+000	9.00+000	9.00+000
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	9.68+000	9.68+000	1.03+001	1.03+001	1.09+001	1.09+001	1.15+001	1.15+001	1.21+001	1.21+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	1.26+001	1.26+001	1.31+001	1.31+001	1.36+001	1.36+001	1.40+001	1.40+001	1.45+001	1.45+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	1.49+001	1.49+001	1.53+001	1.53+001	1.56+001	1.56+001	1.60+001	1.60+001	1.63+001	1.63+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	1.66+001	1.66+001	1.69+001	1.69+001	1.72+001	1.72+001	1.75+001	1.74+001	1.77+001	1.77+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	1.79+001	1.79+001	1.82+001	1.82+001	1.84+001	1.84+001	1.86+001	1.86+001	1.88+001	1.88+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.90+001	1.89+001	1.91+001	1.91+001	1.93+001	1.93+001	1.94+001	1.94+001	1.96+001	1.95+001

TABELA IX - AKTIVNOST (A) SR-91

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	8.52+002	9.20-007	8.14+002	2.76-005	7.77+002	8.44-007	7.42+002	4.50-006	7.08+002	7.70-007
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	6.76+002	4.11-006	6.46+002	4.89-003	6.10+002	3.74-006	5.89+002	6.40-007	5.62+002	3.41-006
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	5.37+002	3.20-006	5.12+002	5.57-007	4.89+002	9.26-005	4.67+002	5.08-007	4.46+002	2.71-006
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	4.26+002	4.63-007	4.05+002	2.47-006	3.88+002	2.94-003	3.71+002	2.25-006	3.54+002	3.84-007
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	3.38+002	2.05-006	3.22+002	1.96-006	3.18+002	3.35-007	2.94+002	5.56-005	2.81+002	3.05-007
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	2.68+002	1.63-006	2.56+002	2.78-007	2.44+002	1.48-006	2.33+002	1.77-006	2.23+002	1.35-006
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	2.13+002	2.31-007	2.03+002	1.23-006	1.94+002	1.18-006	1.85+002	2.01-007	1.77+002	3.34-005
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.69+002	1.83-007	1.61+002	9.78-007	1.54+002	1.67-007	1.47+002	8.91-007	1.40+002	1.06-006

TABELA X - AKTIVNOST (A) SR-92

NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	1 8.57+002	2 1.26-030	3 8.18+002	4 3.57-025	5 7.81+002	6 1.15-030	7 7.46+002	8 5.97-028	9 7.12+002	10 1.05-030
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	11 6.80+002	12 5.44-028	13 6.49+002	14 1.45-115	15 6.20+002	16 4.96-028	17 5.92+002	18 8.70-031	19 5.65+002	20 4.52-028
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	21 5.40+002	22 4.32-028	23 5.15+002	24 7.57-031	25 4.92+002	26 1.17-022	27 4.70+002	28 6.90-031	29 4.48+002	30 3.59-028
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	31 4.28+002	32 6.29-031	33 4.09+002	34 3.27-028	35 3.90+002	36 8.73-116	37 3.73+002	38 2.98-028	39 3.56+002	40 5.23-031
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	41 3.40+002	42 2.72-028	43 3.24+002	44 2.60-028	45 3.10+002	46 4.55-031	47 2.96+002	48 7.02-023	49 2.82+002	50 4.15-031
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	51 2.70+002	52 2.16-028	53 2.57+002	54 3.78-031	55 2.46+002	56 1.97-028	57 2.35+002	58 5.25-116	59 2.24+002	60 1.79-028
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	61 2.14+002	62 3.14-031	63 2.04+002	64 1.63-028	65 1.95+002	66 1.56-028	67 1.86+002	68 2.74-031	69 1.78+002	70 4.22-023
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	71 1.70+002	72 2.49-031	73 1.62+002	74 1.30-028	75 1.55+002	76 2.27-031	77 1.48+002	78 1.18-028	79 1.41+002	80 3.15-116

TABELA XI - AKTIVNOST (A) ZR-95

NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	1 1.74+002	2 1.53+002	3 2.91+002	4 2.62+002	5 3.73+002	6 3.28+002	7 4.20+002	8 3.73+002	9 4.50+002	10 3.96+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	11 4.62+002	12 4.11+002	13 4.68+002	14 2.97+002	15 3.68+002	16 3.28+002	17 3.88+002	18 3.42+002	19 3.94+002	20 3.51+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	21 3.96+002	22 3.53+002	23 3.93+002	24 3.46+002	25 3.83+002	26 3.48+002	27 3.80+002	28 3.35+002	29 3.65+002	30 3.24+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	31 3.52+002	32 3.10+002	33 3.37+002	34 3.00+002	35 3.24+002	36 2.06+002	37 2.44+002	38 2.17+002	39 2.50+002	40 2.20+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	41 2.49+002	42 2.21+002	43 2.47+002	44 2.20+002	45 2.42+002	46 2.13+002	47 2.35+002	48 2.13+002	49 2.32+002	50 2.04+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	51 2.21+002	52 1.97+002	53 2.13+002	54 1.88+002	55 2.04+002	56 1.81+002	57 1.98+002	58 1.24+002	59 1.47+002	60 1.31+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	61 1.50+002	62 1.32+002	63 1.50+002	64 1.33+002	65 1.48+002	66 1.32+002	67 1.46+002	68 1.28+002	69 1.41+002	70 1.28+002
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	71 1.39+002	72 1.23+002	73 1.33+002	74 1.19+002	75 1.28+002	76 1.13+002	77 1.22+002	78 1.09+002	79 1.18+002	80 7.46+001

TABELA XII - AKTIVNOST (A) ZR-97

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	8.68+002	6.86-003	8.28+002	4.64-002	7.91+002	6.25-003	7.55+002	1.59-002	7.21+002	5.70-003
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	6.88+002	1.45-002	6.57+002	3.43-016	6.28+002	1.32-002	5.99+002	4.74-003	5.72+002	1.20-002
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	5.46+002	1.15-002	5.21+002	4.12-003	4.98+002	7.42-002	4.75+002	3.76-003	4.54+002	9.55-003
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	4.33+002	3.43-003	4.14+002	8.71-003	3.95+002	2.06-016	3.77+002	7.94-003	3.60+002	2.85-003
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	3.44+002	7.23-003	3.28+002	6.91-003	3.13+002	2.48-003	2.99+002	4.46-002	2.86+002	2.26-003
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	2.73+002	5.74-003	2.60+002	2.06-003	2.49+002	5.23-003	2.37+002	1.24-016	2.27+002	4.77-003
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	2.16+002	1.71-003	2.07+002	4.35-003	1.97+002	4.15-003	1.88+002	1.49-003	1.80+002	2.68-002
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.72+002	1.36-003	1.64+002	3.45-003	1.57+002	1.24-003	1.49+002	3.14-003	1.43+002	7.45-017

TABELA XIII - AKTIVNOST (A) RU-103

NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	1 1.29+002	2 1.05+002	3 1.99+002	4 1.67+002	5 2.38+002	6 1.93+002	7 2.51+002	8 2.07+002	9 2.56+002	10 2.67+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	11 2.51+002	12 2.07+002	13 2.47+002	14 1.16+002	15 1.77+002	16 1.46+002	17 1.94+002	18 1.57+002	19 1.98+002	20 1.63+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	21 1.99+002	22 1.64+002	23 1.95+002	24 1.58+002	25 1.88+002	26 1.60+002	27 1.86+002	28 1.51+002	29 1.76+002	30 1.45+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	31 1.69+002	32 1.37+002	33 1.60+002	34 1.32+002	35 1.53+002	36 7.22+001	37 1.08+002	38 8.91+001	39 1.18+002	40 9.53+001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	41 1.20+002	42 9.87+001	43 1.20+002	44 9.87+001	45 1.18+002	46 9.53+001	47 1.13+002	48 9.65+001	49 1.12+002	50 9.06+001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	51 1.06+002	52 8.71+001	53 1.01+002	54 8.21+001	55 9.60+001	56 7.92+001	57 9.22+001	58 4.34+001	59 6.49+001	60 5.36+001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	61 7.47+001	62 5.73+001	63 7.19+001	64 5.93+001	65 7.19+001	66 5.93+001	67 7.06+001	68 5.73+001	69 6.79+001	70 5.80+001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	71 6.72+001	72 5.45+001	73 6.35+001	74 5.24+001	75 6.09+001	76 4.94+001	77 5.77+001	78 4.76+001	79 5.54+001	80 2.61+001

TABELA XIV - AKTIVNOST (A) RU-105

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.33+002	3.81-018	1.27+002	6.58-015	1.21+002	3.47-018	1.16+002	1.41-016	1.11+002	3.17-018
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	1.06+002	1.29-016	1.01+002	9.41-069	9.63+001	1.17-016	9.19+001	2.63-018	8.78+001	1.07-016
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	8.38+001	1.02-016	8.00+001	2.29-018	7.64+001	1.68-013	7.29+001	2.09-018	6.96+001	8.48-017
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	6.65+001	1.90-018	6.35+001	7.73-017	6.06+001	5.66-069	5.79+001	7.04-017	5.53+001	1.58-018
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	5.28+001	6.42-017	5.04+001	6.13-017	4.81+001	1.38-018	4.59+001	1.01-013	4.38+001	1.26-018
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	4.19+001	5.10-017	4.00+001	1.14-018	3.82+001	4.64-017	3.64+001	3.40-069	3.48+001	4.23-017
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	3.32+001	9.51-019	3.17+001	3.86-017	3.03+001	3.69-017	2.89+001	8.27-019	2.76+001	6.07-014
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	2.64+001	7.54-019	2.52+001	3.06-017	2.40+001	6.88-019	2.29+001	2.79-017	2.19+001	2.04-069

TABELA XV - AKTIVNOST (A) RU-106

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	2.11+000	1.97+000	3.82+000	3.74+000	5.45+000	5.32+000	6.89+000	6.75+000	8.18+000	8.00+000
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	9.31+000	9.12+000	1.03+001	9.52+000	1.05+001	1.04+001	1.14+001	1.12+001	1.21+001	1.19+001
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	1.27+001	1.25+001	1.32+001	1.29+001	1.36+001	1.34+001	1.40+001	1.37+001	1.43+001	1.40+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	1.45+001	1.42+001	1.47+001	1.44+001	1.48+001	1.36+001	1.40+001	1.37+001	1.41+001	1.38+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	1.41+001	1.38+001	1.41+001	1.38+001	1.40+001	1.37+001	1.39+001	1.37+001	1.39+001	1.36+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	1.37+001	1.34+001	1.36+001	1.33+001	1.34+001	1.31+001	1.32+001	1.22+001	1.23+001	1.20+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	1.21+001	1.18+001	1.19+001	1.16+001	1.17+001	1.15+001	1.15+001	1.12+001	1.13+001	1.11+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	1.11+001	1.08+001	1.08+001	1.06+001	1.06+001	1.04+001	1.03+001	1.01+001	1.01+001	9.32+000

TABELA XVI - AKTIVNOST (A) TE-129M

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	1.65+001	1.31+001	2.46+001	2.02+001	2.87+001	2.26+001	2.96+001	2.38+001	2.98+001	2.34+001
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	2.89+001	2.32+001	2.82+001	1.17+001	1.98+001	1.60+001	2.22+001	1.74+001	2.26+001	1.82+001
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	2.27+001	1.82+001	2.22+001	1.75+001	2.13+001	1.78+001	2.10+001	1.66+001	1.98+001	1.59+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	1.90+001	1.49+001	1.79+001	1.44+001	1.72+001	7.16+000	1.20+001	9.66+000	1.34+001	1.05+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	1.36+001	1.10+001	1.36+001	1.10+001	1.34+001	1.05+001	1.28+001	1.07+001	1.27+001	9.95+000
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	1.19+001	9.56+000	1.14+001	8.97+000	1.08+001	8.66+000	1.04+001	4.30+000	7.21+000	5.80+000
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	8.03+000	6.32+000	8.20+000	6.59+000	8.20+000	6.58+000	8.02+000	6.31+000	7.68+000	6.43+000
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	7.60+000	5.98+000	7.15+000	5.74+000	6.85+000	5.39+000	6.48+000	5.20+000	6.22+000	2.59+000

TABELA XVII - AKTIVNOST (A) J-131

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	3.32+002	1.18+002	3.40+002	1.43+002	3.30+002	1.17+002	3.12+002	1.21+002	2.99+002	1.06+002
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	2.84+002	1.10+002	2.73+002	6.70+000	2.41+002	9.35+001	2.47+002	8.79+001	2.36+002	9.14+001
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	2.27+002	8.78+001	2.16+002	7.69+001	2.05+002	9.45+001	2.00+002	7.11+001	1.87+002	7.26+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	1.80+002	6.39+001	1.71+002	6.61+001	1.64+002	4.02+000	1.45+002	5.62+001	1.49+002	5.28+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	1.42+002	5.49+001	1.36+002	5.28+001	1.30+002	4.62+001	1.23+002	5.68+001	1.20+002	4.28+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	1.13+002	4.36+001	1.08+002	3.84+001	1.03+002	3.97+001	9.85+001	2.42+000	8.71+001	3.38+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	8.93+001	3.17+001	8.52+001	3.30+001	8.18+001	3.17+001	7.82+001	2.78+001	7.42+001	3.41+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	7.23+001	2.57+001	6.77+001	2.62+001	6.49+001	2.31+001	6.16+001	2.39+001	5.92+001	1.45+000

TABELA XVIII - AKTIVNOST (A) J-132

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: U KIRIJIMA	5.99+002	4.73+001	5.72+002	6.94+001	5.47+002	4.32+001	5.22+002	5.11+001	4.98+002	3.94+001
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A: U KIRIJIMA	4.76+002	4.66+001	4.54+002	4.72+002	4.33+002	4.24+001	4.14+002	3.27+001	3.95+002	3.87+001
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A: U KIRIJIMA	3.78+002	3.70+001	3.60+002	2.85+001	3.44+002	5.17+001	3.29+002	2.60+001	3.14+002	3.07+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A: U KIRIJIMA	3.00+002	2.37+001	2.86+002	2.80+001	2.73+002	2.84+002	2.60+002	2.55+001	2.49+002	1.97+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A: U KIRIJIMA	2.38+002	2.33+001	2.27+002	2.22+001	2.17+002	1.71+001	2.07+002	3.11+001	1.98+002	1.56+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A: U KIRIJIMA	1.89+002	1.85+001	1.80+002	1.42+001	1.72+002	1.68+001	1.64+002	1.71+002	1.56+002	1.53+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A: U KIRIJIMA	1.50+002	1.18+001	1.43+002	1.40+001	1.36+002	1.34+001	1.30+002	1.03+001	1.24+002	1.87+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A: U KIRIJIMA	1.19+002	9.39+000	1.13+002	1.11+001	1.08+002	8.55+000	1.03+002	1.01+001	9.86+001	1.03+002

TABELA XIX - AKTIVNOST (A) J-133

NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	1 9.72+002	2 6.91-002	3 9.28+002	4 3.24-001	5 8.86+002	6 6.30-002	7 8.46+002	8 1.33-001	9 8.08+002	10 5.74-002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	11 7.71+002	12 1.21-001	13 7.36+002	14 1.00-012	15 7.03+002	16 1.11-001	17 6.71+002	18 4.77-002	19 6.41+002	20 1.01-001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	21 6.12+002	22 9.64-002	23 5.84+002	24 4.15-002	25 5.58+002	26 4.32-001	27 5.32+002	28 3.78-002	29 5.08+002	30 8.01-002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	31 4.85+002	32 3.45-002	33 4.63+002	34 7.30-002	35 4.42+002	36 6.04-013	37 4.22+002	38 6.65-002	39 4.03+002	40 2.87-002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	41 3.85+002	42 6.07-002	43 3.68+002	44 5.79-002	45 3.51+002	46 2.49-002	47 3.35+002	48 2.59-001	49 3.20+002	50 2.27-002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	51 3.06+002	52 4.81-002	53 2.92+002	54 2.07-002	55 2.79+002	56 4.39-002	57 2.66+002	58 3.63-013	59 2.54+002	60 4.00-002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	61 2.42+002	62 1.72-002	63 2.31+002	64 3.65-002	65 2.21+002	66 3.48-002	67 2.11+002	68 1.50-002	69 2.01+002	70 1.56-001
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	71 1.92+002	72 1.37-002	73 1.84+002	74 2.89-002	75 1.75+002	76 1.25-002	77 1.67+002	78 2.64-002	79 1.60+002	80 2.18-013

TABELA XX - AKTIVNOST (A) XE-133

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: U KIRIJIMA	8.88+002	2.23+002	8.67+002	2.82+002	8.33+002	2.08+002	7.90+002	2.25+002	7.57+002	1.89+002
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A: U KIRIJIMA	7.20+002	2.05+002	6.90+002	2.93+000	6.43+002	1.84+002	6.29+002	1.57+002	5.99+002	1.71+002
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A: U KIRIJIMA	5.73+002	1.63+002	5.47+002	1.37+002	5.21+002	1.93+002	5.03+002	1.25+002	4.75+002	1.35+002
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A: U KIRIJIMA	4.55+002	1.14+002	4.33+002	1.23+002	4.15+002	1.76+000	3.86+002	1.11+002	3.78+002	9.44+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A: U KIRIJIMA	3.60+002	1.03+002	3.45+002	9.82+001	3.29+002	8.22+001	3.13+002	1.16+002	3.02+002	7.54+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A: U KIRIJIMA	2.85+002	8.14+001	2.73+002	6.83+001	2.60+002	7.42+001	2.49+002	1.06+000	2.32+002	6.65+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A: U KIRIJIMA	2.27+002	5.68+001	2.16+002	6.17+001	2.07+002	5.90+001	1.98+002	4.94+001	1.88+002	6.98+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A: U KIRIJIMA	1.82+002	4.53+001	1.72+002	4.89+001	1.64+002	4.11+001	1.56+002	4.46+001	1.50+002	6.35+001

TABELA XXI - AKTIVNOST (A) J-134

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.10+003	3.56-096	1.05+003	1.17-079	1.00+003	3.24-096	9.56+002	5.75-088	9.13+002	2.96-096
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	8.71+002	5.24-088	8.32+002	0.00+000	7.94+002	4.78-088	7.58+002	2.46-096	7.24+002	4.36-088
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	6.91+002	4.16-088	6.60+002	2.14-096	6.30+002	1.31-071	6.02+002	1.95-096	5.75+002	3.46-088
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	5.49+002	1.78-096	5.24+002	3.15-088	5.00+002	0.00+000	4.77+002	2.87-088	4.56+002	1.48-096
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	4.35+002	2.62-088	4.16+002	2.50-088	3.97+002	1.28-096	3.79+002	7.86-072	3.62+002	1.17-096
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	3.45+002	2.08-088	3.30+002	1.07-096	3.15+002	1.89-088	3.01+002	0.00+000	2.87+002	1.73-088
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	2.74+002	8.87-097	2.62+002	1.57-088	2.50+002	1.50-088	2.38+002	7.72-097	2.28+002	4.73-072
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	2.17+002	7.04-097	2.08+002	1.25-088	1.98+002	6.42-097	1.89+002	1.14-088	1.81+002	0.00+000

TABELA XXII - AKTIVNOST (A) CS-134

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.50-002	1.48-002	8.67-002	8.59-002	2.12-001	2.09-001	3.85-001	3.82-001	6.04-001	5.97-001
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	8.62-001	8.53-001	1.16+000	1.11+000	1.45+000	1.44+000	1.81+000	1.79+000	2.20+000	2.17+000
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	2.60+000	2.58+000	3.03+000	3.00+000	3.48+000	3.45+000	3.94+000	3.90+000	4.42+000	4.37+000
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	4.90+000	4.85+000	5.40+000	5.34+000	5.90+000	5.67+000	6.25+000	6.18+000	6.77+000	6.69+000
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	7.28+000	7.21+000	7.81+000	7.73+000	8.34+000	8.24+000	8.85+000	8.78+000	9.39+000	9.29+000
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	9.90+000	9.80+000	1.04+001	1.03+001	1.09+001	1.08+001	1.14+001	1.10+001	1.16+001	1.15+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	1.21+001	1.20+001	1.26+001	1.25+001	1.31+001	1.30+001	1.36+001	1.34+001	1.41+001	1.39+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.46+001	1.44+001	1.50+001	1.48+001	1.55+001	1.53+001	1.59+001	1.57+001	1.63+001	1.57+001

TABELA XXIII - AKTIVNOST (A) J-135

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: U KIRIJIMA	9.48+002	1.13-010	9.05+002	1.54-008	8.64+002	1.03-010	8.25+002	1.17-009	7.88+002	9.37-011
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A: U KIRIJIMA	7.52+002	1.07-009	7.18+002	3.49-044	6.86+002	9.74-010	6.55+002	7.79-011	6.25+002	8.88-010
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A: U KIRIJIMA	5.97+002	8.48-010	5.70+002	6.78-011	5.44+002	1.10-007	5.20+002	6.18-011	4.96+002	7.05-010
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A: U KIRIJIMA	4.74+002	5.63-011	4.52+002	6.42-010	4.32+002	2.10-044	4.12+002	5.86-010	3.94+002	4.68-011
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A: U KIRIJIMA	3.76+002	5.34-010	3.59+002	5.10-010	3.43+002	4.07-011	3.27+002	6.62-008	3.12+002	3.71-011
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A: U KIRIJIMA	2.98+002	4.24-010	2.85+002	3.39-011	2.72+002	3.86-010	2.59+002	1.26-044	2.48+002	3.52-010
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A: U KIRIJIMA	2.37+002	2.81-011	2.26+002	3.21-010	2.16+002	3.06-010	2.06+002	2.45-011	1.97+002	3.98-008
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A: U KIRIJIMA	1.88+002	2.23-011	1.79+002	2.55-010	1.71+002	2.04-011	1.63+002	2.32-010	1.56+002	7.58-045

TABELA XXIV - AKTIVNOST (A) XE-135

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.31+002	9.07-007	1.25+002	3.29-005	1.19+002	8.27-007	1.14+002	4.87-006	1.08+002	7.54-007
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	1.04+002	4.44-006	9.89+001	2.23-031	9.44+001	4.05-006	9.02+001	6.27-007	8.61+001	3.69-006
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	8.22+001	3.52-006	7.85+001	5.45-007	7.49+001	1.22-004	7.15+001	4.97-007	6.83+001	2.93-006
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	6.52+001	4.53-007	6.23+001	2.67-006	5.94+001	1.34-031	5.68+001	2.43-006	5.42+001	3.77-007
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	5.17+001	2.22-006	4.94+001	2.12-006	4.72+001	3.28-007	4.50+001	7.32-005	4.30+001	2.99-007
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	4.10+001	1.76-006	3.92+001	2.72-007	3.74+001	1.60-006	3.57+001	8.05-032	3.41+001	1.46-006
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	3.26+001	2.26-007	3.11+001	1.33-006	2.97+001	1.27-006	2.83+001	1.97-007	2.71+001	4.40-005
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	2.58+001	1.80-007	2.47+001	1.06-006	2.36+001	1.64-007	2.25+001	9.63-007	2.15+001	4.84-032

TABELA XXV - AKTIVNOST (A) CS-137

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	1.10+000	1.10+000	2.14+000	2.14+000	3.14+000	3.13+000	4.09+000	4.08+000	4.99+000	4.98+000
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	5.85+000	5.84+000	6.67+000	6.65+000	7.43+000	7.43+000	8.18+000	8.17+000	8.88+000	8.88+000
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	9.56+000	9.55+000	1.02+001	1.02+001	1.08+001	1.08+001	1.14+001	1.14+001	1.19+001	1.19+001
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	1.25+001	1.25+001	1.30+001	1.30+001	1.34+001	1.34+001	1.39+001	1.38+001	1.43+001	1.43+001
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	1.47+001	1.47+001	1.51+001	1.51+001	1.54+001	1.54+001	1.58+001	1.58+001	1.61+001	1.61+001
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	1.64+001	1.64+001	1.67+001	1.67+001	1.70+001	1.70+001	1.73+001	1.72+001	1.75+001	1.75+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	1.77+001	1.77+001	1.80+001	1.80+001	1.82+001	1.82+001	1.84+001	1.84+001	1.86+001	1.86+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.88+001	1.87+001	1.89+001	1.89+001	1.91+001	1.91+001	1.92+001	1.92+001	1.94+001	1.93+001

TABELA XXVI - AKTIVNOST (A) XE-138

NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	¹ 9.76+002	² 2.58-295	³ 9.32+002	⁴ 9.71-246	⁵ 8.90+002	⁶ 2.35-295	⁷ 8.50+002	⁸ 1.41-270	⁹ 8.11+002	¹⁰ 2.14-295
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	¹¹ 7.74+002	¹² 1.28-270	¹³ 7.39+002	¹⁴ 0.00+000	¹⁵ 7.06+002	¹⁶ 1.17-270	¹⁷ 6.74+002	¹⁸ 1.78-295	¹⁹ 6.44+002	²⁰ 1.07-270
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	²¹ 6.14+002	²² 1.02-270	²³ 5.87+002	²⁴ 1.55-295	²⁵ 5.60+002	²⁶ 3.67-221	²⁷ 5.35+002	²⁸ 1.41-295	²⁹ 5.11+002	³⁰ 8.47-271
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	³¹ 4.88+002	³² 1.29-295	³³ 4.65+002	³⁴ 7.72-271	³⁵ 4.44+002	³⁶ 0.00+000	³⁷ 4.24+002	³⁸ 7.04-271	³⁹ 4.05+002	⁴⁰ 1.07-295
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	⁴¹ 3.87+002	⁴² 6.41-271	⁴³ 3.69+002	⁴⁴ 6.12-271	⁴⁵ 3.53+002	⁴⁶ 9.30-296	⁴⁷ 3.37+002	⁴⁸ 2.20-221	⁴⁹ 3.21+002	⁵⁰ 8.48-296
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	⁵¹ 3.07+002	⁵² 5.09-271	⁵³ 2.93+002	⁵⁴ 7.73-296	⁵⁵ 2.80+002	⁵⁶ 4.64-271	⁵⁷ 2.67+002	⁵⁸ 0.00+000	⁵⁹ 2.55+002	⁶⁰ 4.23-271
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	⁶¹ 2.43+002	⁶² 6.43-296	⁶³ 2.32+002	⁶⁴ 3.85-271	⁶⁵ 2.22+002	⁶⁶ 3.68-271	⁶⁷ 2.12+002	⁶⁸ 5.59-296	⁶⁹ 2.02+002	⁷⁰ 1.32-221
NO. KAMPANJE A. U KIRIJIMA	⁷¹ 1.93+002	⁷² 5.10-296	⁷³ 1.84+002	⁷⁴ 3.06-271	⁷⁵ 1.76+002	⁷⁶ 4.65-296	⁷⁷ 1.68+002	⁷⁸ 2.79-271	⁷⁹ 1.61+002	⁸⁰ 0.00+000

TABELA XXVII - AKTIVNOST (A) CS-138

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. U KIRIJIMA	9.76+002	5.92-159	9.32+002	4.77-132	8.91+002	5.39-159	8.50+002	1.50-145	8.11+002	4.92-159
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A. U KIRIJIMA	7.74+002	1.36-145	7.39+002	6.00+000	7.06+002	1.24-145	6.74+002	4.08-159	6.44+002	1.13-145
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A. U KIRIJIMA	6.14+002	1.08-145	5.87+002	3.56-159	5.60+002	8.32-119	5.35+002	3.24-159	5.11+002	8.99-146
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A. U KIRIJIMA	4.88+002	2.95-159	4.65+002	8.19-146	4.44+002	0.00+000	4.24+002	7.47-146	4.05+002	2.45-159
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A. U KIRIJIMA	3.87+002	6.81-146	3.69+002	6.50-146	3.53+002	2.14-159	3.37+002	5.00-119	3.21+002	1.95-159
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A. U KIRIJIMA	3.07+002	5.40-146	2.93+002	1.78-159	2.80+002	4.92-146	2.67+002	0.00+000	2.55+002	4.49-146
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A. U KIRIJIMA	2.43+002	1.48-159	2.32+002	4.09-146	2.22+002	3.91-146	2.12+002	1.28-159	2.02+002	3.01-119
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A. U KIRIJIMA	1.93+002	1.17-159	1.84+002	3.25-146	1.70+002	1.07-159	1.68+002	2.96-146	1.61+002	0.00+000

TABELA XXVIII - AKTIVNOST (A) BA-140

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	5.98+002	3.12+002	6.82+002	3.97+002	6.87+002	3.59+002	6.49+002	3.58+002	6.25+002	3.26+002
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	5.91+002	3.26+002	5.69+002	5.56+001	4.52+002	2.49+002	5.02+002	2.62+002	4.88+002	2.69+002
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	4.72+002	2.01+002	4.52+002	2.36+002	4.28+002	2.63+002	4.21+002	2.20+002	3.91+002	2.16+002
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	3.76+002	1.96+002	3.55+002	1.96+002	3.42+002	3.34+001	2.72+002	1.50+002	3.02+002	1.58+002
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	2.93+002	1.62+002	2.84+002	1.57+002	2.72+002	1.42+002	2.57+002	1.58+002	2.53+002	1.32+002
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	2.35+002	1.30+002	2.26+002	1.18+002	2.13+002	1.18+002	2.06+002	2.01+001	1.63+002	9.01+001
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	1.81+002	9.47+001	1.76+002	9.72+001	1.71+002	9.41+001	1.63+002	8.54+001	1.54+002	9.49+001
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	1.52+002	7.95+001	1.41+002	7.80+001	1.36+002	7.09+001	1.28+002	7.08+001	1.24+002	1.21+001

TABELA XXIX - AKTIVNOST (A) CE-144

NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	1 3.58+001	2 3.48+001	3 6.74+001	4 6.58+001	5 9.55+001	6 9.27+001	7 1.20+002	8 1.17+002	9 1.41+002	10 1.37+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	11 1.59+002	12 1.55+002	13 1.75+002	14 1.58+002	15 1.76+002	16 1.72+002	17 1.89+002	18 1.83+002	19 1.99+002	20 1.93+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	21 2.07+002	22 2.02+002	23 2.14+002	24 2.08+002	25 2.19+002	26 2.14+002	27 2.24+002	28 2.18+002	29 2.27+002	30 2.21+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	31 2.28+002	32 2.22+002	33 2.29+002	34 2.23+002	35 2.29+002	36 2.06+002	37 2.13+002	38 2.07+002	39 2.12+002	40 2.06+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	41 2.11+002	42 2.06+002	43 2.10+002	44 2.04+002	45 2.08+002	46 2.02+002	47 2.05+002	48 2.01+002	49 2.03+002	50 1.98+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	51 2.00+002	52 1.95+002	53 1.96+002	54 1.91+002	55 1.92+002	56 1.87+002	57 1.89+002	58 1.70+002	59 1.72+002	60 1.67+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	61 1.68+002	62 1.64+002	63 1.65+002	64 1.60+002	65 1.61+002	66 1.57+002	67 1.58+002	68 1.53+002	69 1.54+002	70 1.50+002
NO. KAMPANJE A, U KIRIJIMA	71 1.50+002	72 1.46+002	73 1.46+002	74 1.42+002	75 1.42+002	76 1.38+002	77 1.38+002	78 1.35+002	79 1.34+002	80 1.21+002

TABELA XXX - AKTIVNOST (A) PU-238

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	2.00-007	3.30-007	3.50-006	4.42-006	1.47-005	1.73-005	3.89-005	4.39-005	8.02-005	8.83-005
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	1.43-004	1.54-004	2.29-004	2.46-004	3.45-004	3.67-004	4.90-004	5.17-004	6.68-004	7.01-004
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	8.80-004	9.20-004	1.13-003	1.18-003	1.42-003	1.47-003	1.74-003	1.81-003	2.11-003	2.18-003
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	2.52-003	2.60-003	2.97-003	3.06-003	3.47-003	3.56-003	4.01-003	4.11-003	4.59-003	4.71-003
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	5.21-003	5.34-003	5.88-003	6.02-003	6.59-003	6.74-003	7.34-003	7.50-003	8.14-003	8.31-003
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	8.98-003	9.16-003	9.86-003	1.00-002	1.08-002	1.10-002	1.17-002	1.19-002	1.27-002	1.30-002
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	1.38-002	1.40-002	1.48-002	1.51-002	1.60-002	1.62-002	1.71-002	1.74-002	1.83-002	1.86-002
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	1.95-002	1.98-002	2.08-002	2.11-002	2.20-002	2.24-002	2.34-002	2.37-002	2.47-002	2.50-002

TABELA XXXI - AKTIVNOST (A) PU-239

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	1.06-004	1.29-004	2.25-004	2.48-004	3.34-004	3.57-004	4.34-004	4.57-004	5.26-004	5.49-004
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	6.10-004	6.32-004	6.87-004	7.10-004	7.57-004	7.80-004	8.21-004	8.44-004	8.80-004	9.03-004
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	9.35-004	9.57-004	9.84-004	1.01-003	1.03-003	1.05-003	1.07-003	1.09-003	1.11-003	1.13-003
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	1.14-003	1.17-003	1.17-003	1.20-003	1.20-003	1.23-003	1.23-003	1.25-003	1.25-003	1.28-003
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	1.28-003	1.30-003	1.30-003	1.32-003	1.31-003	1.34-003	1.33-003	1.35-003	1.35-003	1.37-003
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	1.36-003	1.38-003	1.37-003	1.39-003	1.38-003	1.41-003	1.39-003	1.42-003	1.40-003	1.42-003
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	1.41-003	1.43-003	1.42-003	1.44-003	1.42-003	1.45-003	1.43-003	1.45-003	1.44-003	1.46-003
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	1.44-003	1.46-003	1.45-003	1.47-003	1.45-003	1.47-003	1.45-003	1.47-003	1.46-003	1.48-003

TABELA XXXII - AKTIVNOST (A) PU-240

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	9.97-006	9.97-006	4.60-005	4.60-005	1.05-004	1.05-004	1.83-004	1.83-004	2.78-004	2.78-004
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	3.86-004	3.86-004	5.07-004	5.07-004	6.38-004	6.38-004	7.76-004	7.76-004	9.21-004	9.21-004
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	1.07-003	1.07-003	1.22-003	1.22-003	1.38-003	1.38-003	1.54-003	1.54-003	1.70-003	1.70-003
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	1.85-003	1.85-003	2.01-003	2.01-003	2.17-003	2.17-003	2.32-003	2.32-003	2.47-003	2.47-003
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	2.62-003	2.62-003	2.77-003	2.77-003	2.91-003	2.91-003	3.05-003	3.05-003	3.19-003	3.19-003
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	3.32-003	3.32-003	3.45-003	3.45-003	3.58-003	3.58-003	3.70-003	3.70-003	3.82-003	3.82-003
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	3.93-003	3.93-003	4.04-003	4.04-003	4.14-003	4.14-003	4.25-003	4.25-003	4.34-003	4.34-003
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	4.44-003	4.44-003	4.53-003	4.53-003	4.62-003	4.62-003	4.70-003	4.70-003	4.78-003	4.78-003

TABELA XXXIII - UKUPNA AKTIVNOST SVIH IZOTOPA (A)

NO. KAMPANJE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, U KIRIJIMA	1.18+004	1.15+003	1.18+004	1.64+003	1.16+004	1.64+003	1.12+004	1.79+003	1.08+004	1.75+003
NO. KAMPANJE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, U KIRIJIMA	1.04+004	1.83+003	1.00+004	8.75+002	9.24+003	1.49+003	9.05+003	1.52+003	8.72+003	1.58+003
NO. KAMPANJE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A, U KIRIJIMA	8.40+003	1.58+003	8.08+003	1.49+003	7.73+003	1.63+003	7.45+003	1.44+003	7.11+003	1.43+003
NO. KAMPANJE	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A, U KIRIJIMA	6.81+003	1.34+003	6.52+003	1.34+003	6.25+003	7.09+002	5.73+003	1.06+003	5.60+003	1.06+003
NO. KAMPANJE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
A, U KIRIJIMA	5.38+003	1.09+003	5.18+003	1.07+003	4.98+003	1.01+003	4.76+003	1.09+003	4.59+003	9.68+002
NO. KAMPANJE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A, U KIRIJIMA	4.37+003	9.57+002	4.19+003	8.99+002	4.00+003	8.91+002	3.84+003	5.02+002	3.51+003	7.01+002
NO. KAMPANJE	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
A, U KIRIJIMA	3.43+003	7.06+002	3.30+003	7.19+002	3.17+003	7.08+002	3.05+003	6.72+002	2.92+003	7.15+002
NO. KAMPANJE	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
A, U KIRIJIMA	2.81+003	6.39+002	2.69+003	6.31+002	2.58+003	5.93+002	2.47+003	5.87+002	2.36+003	3.50+002