



CS06RA053

PRILOG A

R. Martinc, A. Stanić
EKSPLOATACIJA REAKTORA

S A D R Ž A J

Strana

A.1. RAD REAKTORA U PERIODU 1981.-1985.GODINA	A/1
A.1.1. Realizacija plana	A/1
A.1.2. Kraći prekidi u radu reaktora ...	A/2
A.1.3. Duži prekidi u radu reaktora	A/5
A.1.4. Sigurnosna zaustavljanja	A/6
A.2. ISKORIŠĆENOST REAKTORA	A/7
A.2.1. Aktivacija uzoraka i proizvodnja radioizotopa	A/7
A.2.2. Korišćenje reaktora kao izvora neutrons	A/10
A.3. PLAN RADA REAKTORA ZA 1986. GODINU	A/13

A.1. RAD REAKTORA U PERIODU 1981.-1985. GODINA

A.1.1. Realizacija plana

Reaktor je 1981. godine nastavio rad posle pauze od gotovo 2 godine, do koje je došlo posle pojave intenzivnih naslaga na gorivu, ispoljene krajem marta 1979. godine.

Reaktor je u periodu 1981.-1985. godine radio sa jezgrom u kome se nalazilo isključivo visokoobogaćeno gorivo (80% U-235), čime je 2% obogaćeno gorivo definitivno izbačeno iz upotrebe.

U 1981. godini reaktor je radio u okviru realizacije programa kritičnih eksperimenata sa "čistim" konfiguracijama jezgra sa novim 80% obogaćenim gorivom, kao i programa probnog rada na malim i većim snagama sa izabranom početnom konfiguracijom jezgra.

Plan rada reaktora u okviru ovih eksperimentalnih uslova bio je u celini ispunjen.

U 1982, 1983. i do jula 1984. godine reaktor je radio na snazi od 2 MW na kojoj je reaktor (prema rezultatima izvedenih analiza) inherentno siguran u slučaju udesa sa gubitkom hladioca.

Ispunjenje plana rada u ovom periodu bilo je nekoliko poremećeno u 1983. godini (zbog ponovne pojave naslaga na gorivu uočene krajem 1982. godine), ali je plan rada ipak u velikoj meri bio ispunjen.

Od avgusta 1984. godine do kraja 1985. godine reaktor praktično nije radio (ako se izuzme sasvim kratkotrajan povremeni rad za potrebe posebnih eksperimenata i obuke kadrova), tako da je realizacija plana za 1985. godinu iznosila svega 13 MWh, odnosno 0,003% u odnosu na plan. Reaktor nije radio u ovom periodu zbog zabrane rada izdate od nadležnog organa SRS usled nezadovoljavanja zakonskih uslova u pogledu sistema za udesno hladjenje i filtera u sistemu ventilacije, čija planirana ugradnja tokom 1985. godine nije dovršena.

Plan rada u periodu u kome je reaktor radio (1981 - juli 1984) ispunjen je sa oko 95%, dok je plan rada u čitavom planskom periodu od 1981. do 1985. (481 dan rada, uglavnom na snazi od 2 MW) ispunjen sa 77,8%. Podaci o ispunjenju plana rada reaktora RA u ovom periodu dati su na Tabeli A-1. Pregled rada reaktora po godinama dat je na sl. A-1.

A.1.2. Kraći prekidi u radu reaktora

Pod "kraćim" prekidi u radu reaktora podrazumeva-ju se prekidi kraći od 24 časa.

Pregled kraćih prekida u radu reaktora po godina-
ma dat je na Tabeli A-2.

Karakteristični razlozi za kratke prekide bili su:

- Prekidi koje nameće potreba za unošenjem (i iz-
nošenjem) eksperimentalne opreme iz reaktora, odnosno otva-
ranje termalne kolone. U izveštajnom periodu (1981.-1985)
bilo je 11 takvih prekida.

- Prekidi usled najavljenih prekida napona u elek-
tričnoj mreži. U izveštajnom periodu bilo je 4 takva preki-
da.

- Prekidi radi obavljanja eksperimenata na elemen-
tima reaktorske opreme i sistemima. U izveštajnom periodu bi-
la su 3 ovakva prekida (merenje količine J-131 u gasnom sis-
temu u normalnim uslovima za potrebe izrade projektnih osno-
va za rekonstrukciju sistema ventilacije, snimanje zasuna u
primarnom kolu za potrebe projektovanja sistema za udesno
hladjenje reaktora i medjuzamene šipki na nekim tehnološkim
kanalima u cilju nalaženja odnosa protoka hladioca u central-
nim i perifernim kanalima).

- Prekidi zbog ustanovljavanja kvarova na reaktor-
skim sistemima i njihovog uklanjanja. U izveštajnom periodu
bilo je 10 takvih prekida. Tu spadaju prekidi zbog inciden-
tnog gubitka helijuma i povećanja količine vazduha u gasnom

Tabela A-1. Realizacija plana rada reaktora RA za period 1981.-1985. godina

Godina	Planirano		Ostvareno		
	broj radnih dana	snaga (KW)	Broj radnih dana	Snaga (KW)	(MWh)
1981.	27	500, 1000, 1500, 2000	30	500, 1000, 1500, 2000	1162
1982.	164	2000	152	2000	7003
1983.	102	2000	91	1000, 1800, 2000	3986
1984.	146	2000	101	2000	4192
1985.	45	2000, 3000, 3800 45000, 4700	RA je radio na manjim snagama, radi obuke novih kadrova i za eksperimente		13

TABELA A-2. Pregled kraćih prekida u radu reaktora za period 1981.-1985.

Godina	Uzrok prekida
1981.	Bila su tri kraća prekida, radi otvaranja termalne kolone (1) i eksperimenta "hvatanje" radioaktivnog joda (2)
1982.	Bila su 15 kraćih prekida u radu reaktora sa sledećim uzrocima: Najavljen nestanak napona (3), otvaranje termalne kolone (5), kvar na pumpnoj stanici (2), izmena helijuma u sistemu (1), kvar na gasnoj duvaljci Beograd (1), medjusobna zamena šipki na kanalima (1), curenje vazduha na otvorenim ventilima prodivke merača praskavca (1), porast aktivnosti He u reaktoru, i povećanje procenta vazduha (1).
1983.	Bila su 3 kraća prekida u radu reaktora sa sledećim uzrocima: Najavljen nestanak napona (3), i dva puta je smanjena snaga reaktora zbog pada nivoa D ₂ O i provere rada termoparova, kod defektaže greške u izradi tehnoloških kanala.
1984.	Dva puta je smanjena snaga reaktora, i tri puta je reaktor privremeno zaustavljen radi unošenja i iznošenja eksperimentalne opreme za merenje apsolutnog fluksa na punoj snazi reaktora. Sledeća privremena zaustavljanja su bila: Najavljen nestanak napona (1), Kvar cevovoda na relaciji Dunav-taložnik (1), porast ΔT na kanalu 0502 (1), Intezivno curenje helijuma (1), Snižavanje zasuna 8A i 8B za sistem udesnog hladjenja (1), Nedovoljan broj pogonskog osoblja (1).
1985.	Nije bilo kraćih prekida, jer reaktor je radio na malim snagama za obuku osoblja i za obuku osoblja i za eksperimente.

sistemu, nekontrolisanog pada nivoa D_2O (curenja D_2O u slivni rezervoar), kontaminacije vertikalnih eksperimentalnih kanala kadmijumom (i drugim kontaminantima) uglavnom zbog pogrešnog rukovanja čepovima kanala, posledica grešaka kod izrade novih tehnoloških kanala i kvarova na sistemu snabdevanja tehničkom vodom.

U ranijem periodu kraći prekidi, karakteristični za kvarove elemenata opreme, bili su vezani uglavnom za kvarove sistema za rukovanje kenerima sa uzorcima (hvatača, sajli i dr.). Za izveštajni period 1981.-1985. karakteristično je da takvih kvarova nije bilo (verovatno zbog osetnog smanjenja broja uzoraka ozračenih u reaktoru i zbog rada na smanjenoj snazi od 2 MW, tj. smanjenog grejanja hvatača), kao i da je broj kvarova i incidenata na opremi i sistemima koji su uzrokovali kraće prekide radi vršenja intervencija (slučajevi incidentnih gubitaka helijuma i ulaska vazduha u gasni sistem, padova reaktivnosti zbog nekontrolisanog pada nivoa D_2O i drugih, još uvek neobjašnjenih razloga, krupnih grešaka kod izrade šarže tehnoloških kanala 1983. godine i dr.) bio prosečno osetno veći nego u ekvivalentnim periodima u ranijem radu reaktora.

A.1.3. Duži prekidi u radu reaktora

Pregled dužih prekida u radu reaktora u izveštajnom periodu 1981.-1985. dat je na Tabeli A-3. Pod dužim prekidima podrazumevaju se prekidi duži od 24 časa u okviru planiranih mesečnih radnih kampanji reaktora, a ne višesećni prekidi rada reaktora, kakvi su bili početkom 1983. godine ili tokom cele 1985. godine.

Tabela A.3. Pregled dužih prekida u radu reaktora

Godina	Uzrok prekida
1981.	Nije bilo dužih prekida u radu reaktora
1982.	Nije bilo dužih prekida u radu reaktora
1983.	Nije bilo dužih prekida u radu reaktora
1984.	Bila su dva duža prekida u radu reaktora i to: Jedan u trajanju 5 dana, radi ispitivanja uzroka pada reaktivnosti. Drugi prekid je bio u trajanju 45 h, radi nedolaska osoblja u smenski rad.
1985.	Reaktor nije radio tokom 1985. godine.

A.1.4. Sigurnosna zaustavljanja

U periodu 1981-1985. godina, bilo je 34 sigurnosnih zaustavljanja, i to:

- nestanak napona	17
- naponski udar	3
- kvarovi opreme	8
- greške osoblja	5
- greška službi održavanja	1

Svega: 34

A-2. ISKORIŠĆENOST REAKTORA

A.2.1. Aktivacija uzoraka i proizvodnja radioizotopa

Reaktor je tokom perioda 1981.-1985. radio isključivo sa visokoobogaćenim (80% U-235) gorivom, i to do aprila 1984. godine sa početnom konfiguracijom jezgra No 01 (ili 01A), Sl. A-2, i dalje sa konfiguracijom jezgra No 02 (koja je i sa da u reaktoru).

Nominalni nivo snage predviđen izveštajem za sigurnost za konfiguracije No 01 i 02 je 4,7 MW, međutim u čitavom periodu 1981.-1985. godine snaga reaktora je ograničena na 2 MW (na kojoj je reaktor inherentno siguran u slučaju udara sa gubitkom hladioca).

Na snazi od 2 MW maksimalna vrednost fluksa termalnih neutrona je oko $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ("2200" vrednost fluksa), pa je odnos maksimalne vrednosti fluksa termalnih neutrona i snage reaktora (koji karakteriše "proizvodnost" reaktora u pogledu aktivacije radioizotopa i korišćenja snopova iz reaktora) relativno veoma visok, tj. taj odnos je:

$$f_{80\%} = 2.0 \times 10^{13} \text{ (cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1})$$

Vrednost ove veličine, karakteristična za 2% obogaćeno gorivo i način rukovanja tim gorivom u periodu 1967. do 1974. godine (za "2200" vrednost termalnog neutronskeg fluksa) bila je:

$$f_{2\%} = 1.0 \times 10^{13} \text{ (cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1})$$

(usavršavanjem načina rukovanja 2% obogaćenim gorivom veličina $f_{2\%}$ je u 1975. i 1976. rasla i krajem 1976. dostigla vrednost $f_{2\%} = 1,25 \times 10^{13} \text{ (cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1})$, dok bi odgovarajuća vrednost za ravnotežni režim izgaranja bila oko $f_{2\%,eq} = 1,6 \times 10^{13} \text{ (cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$).

To znači da bi reaktor RA sa konfiguracijom jezgra No 01 na snazi od oko 3.2 MW imao praktično istu proizvodnost (za aktivaciju radioizotopa), kao reaktor RA sa 2% obogaćenim gorivom u periodu 1967.-1984. na snazi od 6.5 MW.

O ovome treba voditi računa kada se upoređuje stepen iskorišćenosti reaktora u pojedinim periodima rada, od strane korisnika-proizvodjača izotopa.

Na Tabeli A-4 dat je pregled iskorišćenosti kapaciteta reaktora RA za ozračivanje uzoraka u periodu 1981.-1985. godine. U cilju upoređenja navedeni su odgovarajući podaci i iz ranijeg perioda (1975.-1979. godina).

Raspoloživi integralni neutronska fluks (kapacitet reaktora za ozračivanje uzoraka), kao i angažovani integralni fluks (za aktivaciju izotopa) predstavljaju se jedinicama usluge ozračivanja. Ova jedinica (J.O.) definisana je kao integralni neutronska fluks termalnih neutrona (angažovanih ili raspoloživih za ozračivanje uzoraka u prostoru jednog kenera) ekvivalentan₂ ozračivanju uzorka na neperturbovanom sluku od $1 \times 10^{13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ u trajanju od 1 časa.

Iskorišćenost reaktora za ozračivanje uzoraka na Tabeli A-4, u skladu sa gore navedenim definicijama, jeste odnos angažovanog integralnog neutronska fluksa i raspoloživost integralnog fluksa u datoj godini rada, izražen u procentima.

Tabela A-4. Pregled stepena iskorišćenosti kapaciteta reaktora za ozračivanje uzoraka po godinama

Godina	Broj uzoraka		Broj utrošenih jedinica ozračivanja			Iskorišćenost reaktora (%)	
	broj	norm. na 1975.	J.O.	normirano na 1975. god	6*		
1	2	3	4	5	6*	7	
1975	457	1,00	699000	1,00		68	
1976	310	0,68	368000	0,53	10 mes.	0,65	42
1977	320	0,70	498000	0,71			41
1978	309	0,68	497000	0,71			38
1979	66	0,14	113000	0,13	3 mes.	0,56	36
1981	59	0,13	33000	0,05	2 mes.	0,25	36
1982	109	0,24	139000	0,20			29
1983	77	0,17	111000	0,16	9 mes.	0,21	38
1984.	75	0,16	131000	0,19	7 mes.	0,30	44

*U slučajevima kad je reaktor radio samo tokom dela godine u rubrici koloni (6) dati su podaci obračunati uz pretpostavku da je reaktor radio cele godine.

Pregled uzoraka aktiviranih u reaktoru RA tokom perioda 1981.-1985. dat je na Tabeli A-5.

Tabela A-5. Aktivacija uzoraka na reaktoru RA za period 1981.-1985. godine

Red. broj	Uzorak	Broj uzoraka	Broj J.O.
1.	EU_2O_3	127	291896
2.	Au	68	11917
3.	U orci org.prirode	26	2356
4.	Co	17	8016
5.	Cr_2O_3	16	23884
6.	TeO_2	10	11420
7.	Mo	9	3332
8.	KCl	8	26784
9.	Hf	7	8433
10.	BaBr_2	4	218
11.	Ag	2	1882
12.	Y_2O_3	4	1282
13.	Rečni segmenti	2	778
14.	HgO	1	12
15.	BaCO_3	1	569
16.	Ir	1	12999
17.	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1	60
18.	Bi	1	1086
19.	CaO_2	1	475
20.	CaCO_3	1	4003
21.	Ga	1	28
22.	Fe,Co	1	2
23.	$\text{Hf}(\text{SO}_4)$	1	50
24.	TeO_2	1	800
25.	Zr	1	1176
26.	Sm_2O_3	1	420
27.	KMnO_4	2	-
28.	HN_4Br_2	2	4
29.	Na_2CO_3	1	-
30.	Ta	2	54
UKUPNO:		320	413938

Navedeni su svi uzorci, tj. uzorci koji služe za proizvodnju radioizotopa i uzorci koji su aktivirani u cilju vršenja neutronške aktivacione analize.

A.2.2. Korišćenje reaktora kao izvora neutrona

Korišćenje horizontalnih eksperimentalnih kanala tokom perioda 1981.-1985. godine prikazano je na Tabelama A-6 i A-7.

Tabela A-6. Iskorišćenost reaktora u pogledu eksperimenata i ozračivanja uzoraka za period 1981.-1985.godina

A. Eksperimentalna istraživanja koja se zasnivaju na korišćenju horizontalnih kanala u reaktoru "RA":	
1. Kanal "A"	- Identifikacija kristalne strukture legure Cr-Fe i magnetne strukture Odredjivanje nuklearnih karakteristika domaćih aluminijuma
2. Kanal "B"	- Neelastično rasejanje na fero i antifero-magnetnim materijalima uz dodatak različitih primesa.
3. Kanal "C"	- Testiran rad spektrometra za merenje vremena preleta neutrona i meren je profil upadnog snopa i podešavanje brojača; - istraživanje dinamičkih osobina nekih feroelektrika i poluprovodnika
4. Kanal "D"	- Testiranje proporcionalnih brojača - Uhodavanje rada spektrometra
5. Kanal "E"	- Merenje γ - spektra iz termalnog neutronskog zahvata u izotopu La-139
6. Kanal "F"	- Razvoj metode za neutronske radiografije - Meren je statički strukturni faktor na tečnom germanijumu; - Justiranje spektrometra i proporcionalnih brojača

nastavak tabele A-6.

B. Ostala eksperimentalna istraživanja

I.Mirić, D.Veličković, M.Vukčević

1. Standardizacija aktivacionih detektora namenjenih za merenje fluksa i doze neutrona u TK.

Merenje fluksa termalnih neutrona i ozračivanje U-235 sa detektorom leksana - TK

Ozračivanje cirkosila i cirkobita u cilju određivanja koncentracije urana - TK

I.Mirić, D.Veličković, M.Vukčević

2. Merenje fluksa i spektra neutrona u vertikalnim kanalima reaktora RA;

Ozračivanje uzoraka zemlje u cilju određivanja koncentracije urana u VKG, VBK.

M.Prokić

3. Istraživanje iz oblasti termoluminiscentne dozimetrije - TK

R.Martinc, L.Marinkov, I.Bikit, A.Stanić

4. Merenje raspodele neutronske fluksa u reaktoru RA ozračivanjem Dy, Co i Zr aktivacionih detektora u vertikalnim kanalima reaktora "RA"

R.Martinc, M.Raičković, A.Stanić

Merenje prostorne raspodele neutronske fluksa na nominalnoj snazi reaktora u vertikalnim kanalima

Z.Životić, R.Martinc, A.Stanić

5. Merenje temperature nosača aktivacionih detektora, za potrebe merenja apsolutnog neutronske fluksa; kanal VK-7.

Č.Teofilovski, R.Martinc, M.Raičković, R.Badrić

6. Eksperimenti za osvajanje procesa proizvodnje J-125 putem ozračivanja Xe. Kanal VK-4;

R.Martinc, Z.Životić, Z.Vukadin, T.Stošić, A.Stanić

7. Probno ozračivanje Mo i Xe iz N.R.Madžarske

R. Martinc, A.Stanić

8. Uporedjenje reaktivnosti reaktora u dane 2.7.84. i 24.7.85, unošenje EU_2O_3 u kanal VK-5
-

R.Martinc, A.Stanić

9. Ozračivanje Al_2O_3 - ploče, folije Al i Cr u vertikalnom kanalu.

R.Martinc, A.Stanić

10. Vršeno je ozračivanje Zr, Dy, Co, Al_2O_3 i geološki uzorak, u vertikalnom kanalu reaktora.

Tabela A-7. Korišćenje pojedinih horizontalnih kanala u periodu 1981.-1985. godina

Kanal	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.
A	50	875	1180	1865	-
B	983	3503	2072	2125	-
C	-	-	630	430	-
D	72	48	630	80	-
E	-	-	540	-	-
F	24	2729	500	395	-
TK	12	609	170	6	-

A.3. PLAN RADA REAKTORA ZA 1986. GODINU

S obzirom na odmaklost radova na dovršavanju ugradnje odgovarajućih sistema i izradu potrebne dokumentacije, čije završavanje predstavlja uslov za dobijanje dozvole za nastavak rada reaktora RA (sistem za udesno hladjenje i rekonstrukciju sistema ventilacije, kao i izrada izveštaja o sigurnosti i ostale dokumentacije), planira se nastavak rada reaktora počev od maja 1986. godine. Na toj osnovi izradjen je plan rada reaktora u 1986. godini, koji je priložen na Tabeli A-8.

Pošto je program probnog rada, koji je izveden 1981. godine, primenjen samo do snage od 2 MW (za koju je dobijena privremena dozvola), neophodno je izvršiti nastavak programa probnog rada za raspon snage od 2 MW do 4,7 MW. Plan rada na Tabeli A-8 sadrži i periode rada na nekoliko nivoa snage između 2 MW i 4,7 MW. Prilikom izrade detaljnog programa probnog rada moguće je vršenje manjih izmena (kao i prilikom same realizacije tog programa), što ne može imati globalnog odraza na plan rada reaktora RA za 1986. godinu.

Tabela A-8. Plan rada reaktora RA u 1986. godini

Mesec	Rad na nomin. snazi			Rad na	Remonti	Dopuna	God.
	snaga	rad	dani	maloj	i	goriva	odmor
1	2	3	4	5	6	7	8
	(MW)	od-do	rada	snazi	dr.		
Maj	2,0	5-7	3	21,22,23	27-30	-	-
	3,0	8-20	13				
Juni	3,0	2-9	7	18,19,20	23-26	-	-
	3,8	10-17	8				
Juli	3,8	6-8	3	16,17,18	-	-	21-31
	4,5	9-11	3				
	4,7	12-16					
Avgust	-	-	-	-	-	-	-

Nastavak tabele A-8

1	2	3	4	5	6	7	8
Septembar	3,8 4,7	5-7 8-22	3 15	16,17,18	19,22,23	1-3	-
Oktobar	3,8 4,7	6-7 8-22	2 14	23,24	27-30	-	-
Novembar	3,8 4,7	3-4 5-19	2 16	20,21	23	24-27	-
Svega*			91	17			
Decembar	3,8 4,7 5,8 6,0	2-3 4-6 7-9 10-20	2 2 3 10	21,22,23	23-27	-	-

* Obračunska godina traje od kraja novembra prethodne do kraja novembra tekuće godine.

