

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE 'VINČA'
Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku - NET

Vinča - NET - 95

M.Milošević, M.Pešić, N.Dašić, V.Ljubenov,
D.Antić, D.Nikolić, M.Jevremović

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Izveštaj o radu u 2000. godini)

Vinča, decembar 2000.

SADRŽAJ

Strana

I. DEO**TEHNIČKI OPIS, POGON I RAD REAKTORA**

I.1.	UVOD	1
I.2.	REAKTOR RB	3
I.2.1.	Kraći opis reaktora	3
I.2.2.	Eksploatacione mogućnosti reaktora	5
I.2.3.	Perspektive korišćenja reaktora	6
I.2.4.	Dosadašnje korišćenje reaktora	7
I.2.5.	Akcidenti i incidenti	9
I.3.	OPREMA POSTROJENJA	9
I.3.1.	Nuklearno gorivo	9
I.3.2.	Teška voda	10
I.3.3.	Reaktorski sud	10
I.3.4.	Cirkulacioni sistem teške vode	10
I.3.5.	Elektronska oprema	11
I.3.6.	Mašinska i elektro oprema	11
I.3.7.	Pomoćni sistemi i oprema	11
I.3.8.	Eksperimentalna i računarska oprema na reaktoru RB	11
I.4.	DOZIMetriJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA	12
I.4.1.	Nivoi gama i neutronskeg zračenja	12
I.4.2.	Kontaminacija radne sredine, predmeta i ljudstva	12
I.4.3.	Ozračivanje osoblja	13
I.5.	OSOBLJE POGONA REAKTORA	13
I.6.	TROŠKOVI RADA REAKTORA	15
I.7.	ZAKLJUČCI	16
I.8.	REFERENCE	17

II. DEO**OPREMA POSTROJENJA I NJENO ODRŽAVANJE**

II.1.	KONTROLA I ODRŽAVANJE OSNOVNIH KOMPONENTI REAKTORA	24
II.1.1.	Nuklearno gorivo	24
II.1.2.	Teška voda	24
II.1.3.	Reaktorski sud	25
II.1.4.	Noseća konstrukcija i eksperimentalne platforme	25
II.1.5.	Cirkulacioni sistem teške vode	26
II.1.6.	Apsorpcione šipke i nivomeri teške vode	26
II.2.	ODRŽAVANJE ELEKTRONSKE OPREME REAKTORA	27
II.2.1.	Instrumentacija kontrolno-komandnog pulta	27
II.2.2.	Instrumentacija dozimetriskog pulta	28
II.2.3.	Instrumentacija kanala za puštanje reaktora u rad	28
II.2.4.	Merna instrumentacija i računarska oprema	28
II.3.	ODRŽAVANJE MAŠINSKE I ELEKTRO OPREME	29
II.3.1.	Uređaj za napajanje električnom energijom	29
II.3.2.	Mehanizmi apsorpcionih šipki	30
II.3.3.	Nivomeri	30
II.3.4.	Eksperimentalni kanali	30
II.3.5.	Pneumatska puška za neutronske izvor	30
II.3.6.	Svetlosna i zvučna signalizacija	30
II.3.7.	Kran	30
II.4.	KONTROLA I ODRŽAVANJE POMOĆNIH SISTEMA I INSTALCIJE	31
II.4.1.	Ventilacija i grejanje	31
II.4.2.	Instalacija gasa i komprimovanog vazduha	31
II.4.3.	Oprema za protivpožarnu zaštitu	31
II.4.4.	Instalacije telefona i interfona	31
II.4.5.	Vodovod i kanalizacija	31
II.5.	ODRŽAVANJE RADNIH PROSTORIJA	32
II.6.	REFERENCE	32

III. DEO**KORIŠĆENJE REAKTORA RB**

III.	KORIŠĆENJE REAKTORA RB U 2000. GODINI	34
------	---------------------------------------	----

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu u 2000. godini

I DEO
TEHNIČKI OPIS, POGON I RAD REAKTORA

I. TEHNIČKI OPIS, POGON I RAD REAKTORA

I.1. UVOD

Projekat "Istraživački nuklearni reaktor RB" obuhvata aktivnosti pogonskog osoblja reaktora vezane za: pogon i održavanje nuklearnog reaktora RB; pripremanje potrebnih uslova za njegovu eksploataciju i obezbeđenje sigurnog rada reaktora.

Reaktor RB je poslednjih godina (od 1991. do 2000. godine) korišćen u oblastima: kinetike i sigurnosti nuklearnih reaktora; eksperimentalne verifikacije računarskih programa koji se koriste za analizu prelaznih režima i udesnih stanja na nuklearnim postrojenjima; dozimetrije i zaštite od zračenja; kao i obuke kadrova.

Kalibracija novih integralnih ličnih dozimetara domaće proizvodnje u poljima brzih neutrona formiranih u centru konfiguracije za ozračivanje uzoraka velikih dimenzija (jezgro RB#86 i RB#107) i u unutrašnjosti neutronskog filtra sa borom (jezgro RB#104), je pokazala da reaktor RB može da se uspešno koristi i kao izvor neutrona različitih energetskih spektara. Pokazano je da reaktor može da se koristi i za stvaranje kratkoživećih radioaktivnih nuklida niske aktivnosti, kao što su ^{38}Cl , ^{56}Mn , i ^{198}Au koji imaju važnu ulogu u kalibraciji poluprovodničkih detektora sa germanijumom. Takođe je korišćenjem reaktora RB za ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK potvrđena mogućnost njegove primene u biološkim istraživanjima.

Kao i ranijih godina, i u toku 2000. godine posebna pažnja je posvećena obezbeđenju sigurnosti rada reaktora i povećanju njegovih eksploatacionih mogućnosti.

Aktivnosti vezane za pogon, održavanje i eksploataciju nuklearnog reaktora RB u 2000. godini su obuhvatile:

- pripreme unutrašnjeg konvertora i filtra sa borom za potrebe ozračivanja uzoraka u poljima brzih neutrona;
- kontinualno održavanje svih uređaja i instrumenata postrojenja;
- redovnu kontrolu i proveru ispravnosti rada postrojenja (remont);
- bezbedan pogon reaktora i zaštitu osoblja od ozračivanja i kontaminacije;
- pripremu potrebnih uređaja za odgovarajuće eksperimente.

Kompletnu opremu za pogon reaktora RB čine kontrolno - komandni, sigurnosni i dozimetrijski sistemi, cirkulacioni sistem teške vode, električni sistemi i ostali pomoćni uređaji za pripremu i izvođenje eksperimenata.

U toku 2000. godine rešetka reaktora RB je zamenjena jednom. Ukupni rad reaktora RB u 2000. godini je iznosio 33.4 Wh sa 12 "puštanja reaktora u pogon" (dostizanja kritičnosti). Vreme angažovanja reaktora i eksperimentalnog prostora oko reaktora radi priprema i izvođenja eksperimenata je znatno.

Sve pripreme eksperimenata u 2000. godini članovi pogona su obavili na vreme, čime je omogućeno da se predviđeni program rada reaktora realizuje prema unapred izrađenom godišnjem planu, odnosno Ugovoru.

U toku 2000. godine nije se desio ni jedan akcident niti incident vezan za rad reaktora, niti je bilo neželjenih ozračivanja ili kontaminacije materijala, osoblja i okoline.

Redovno je kontrolisana ispravnost rada svih instrumenata i uređaja postrojenja. Održavanje i remont elektronske, mašinske i elektro opreme vršeno je prema utvrđenom godišnjem planu, kao i u slučajevima otkazivanja pojedinih instrumenata i uređaja. Kontrola i remont pomoćnih sistema postrojenja vršena je sistematski prema postojećim propisima za njihovo održavanje.

Kvarovima su bili najčešće podložni sistemi elektro i mašinske opreme. Veći deo instrumenata i delova za ove sisteme više se ne proizvodi, tako da se ulažu napor da se sistemi kao celine sukcesivno zamenjuju novim.

Takođe je redovno kontrolisan nivo gama i neutronske zračenja, kako u pogonskim prostorijama, tako i na određenim mestima u zgradi reaktora i njenoj neposrednoj okolini.

Stalno osoblje pogona reaktora RB, u 2000. godini (učesnici na Projektu "Istraživački nuklearni reaktor RB") sačinjavali su: rukovodilac Projekta, šef pogona reaktora, fizičar u pogonu reaktora, dozimetrista u pogonu, operator, pomoćnik operatora, tehničar pogona, elektromehaničar i dežurni dozimetrista.

U toku izvođenja eksperimenata, radu reaktora su prisustvovali eksperimentatori, a po potrebi, u zavisnosti od vrste eksperimenta, i direktor, kao odgovorno lice u Laboratoriji.

U 2000. godini je izveden veći broj pogonskih eksperimenata. Ispitivani su i proveravani svi merni kanali za praćenje snage reaktora (specijalno novougrađeni). Redovno je mereno polje neutronske i gama zračenja u reaktorskoj zgradi i njenoj okolini u funkciji snage reaktora. Posebna pažnja je posvećena ispitavanju ispravnosti rada ventila cirkulacionog sistema teške vode. Veći broj dozimetrijskih merenja koja su urađena za vreme rada reaktora i nakon njegovog zaustavljanja, kao i ona iz ranijih godina, omogućila su pouzdanu primenu pravilnog režima rada u eksperimentima u kojima se reaktor koristio kao izvor neutrona.

Reaktor RB ima specifičnu ulogu u SRJ po tome što je to jedini istraživački nuklearni reaktor u radnom stanju i koji je raspoloživ za sve zainteresovane korisnike. Široke eksperimentalne mogućnosti koje reaktor pruža u oblasti primenjenih istraživanja, a posebno kao intenzivan izvor neutronske zračenja definisanih energetskih spektara i gama zračenja, učinili su da se eksploatacija reaktora RB u 2000. godini odvijala intenzivno:

- za potrebe kalibracije novih integralnih ličnih dozimetara domaće proizvodnje.
- za stvaranje radioaktivnih nuklida niske aktivnosti, i
- za ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK.

Reaktor je takođe koriscen u okviru redovne obuke studenata Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Prema broju, kvalitetu i složenosti realizovanih zadataka kao i na osnovu bezbednog rada reaktora RB, Stručni savet projekta ocenio je da su osoblje pogona i saradnici na Projektu "Istraživački nuklearni reaktor RB" uspešno izvršili zadatke u vezi sa pogonom, održavanjem i

korišćenjem reaktora. Na taj način, u potpunosti su ispunjeni i sadržaj i obim rada na ovom Projektu.

Za "Istraživački nuklearni reaktor RB", u 2000. godini Ministarstvo za nauku i tehnologiju (MNT) Republike Srbije je (bez potpisanog Ugovora) izdvojilo sredstva u visini od oko 280.000,00 - dinara (zaključno sa 8.03.2001.. Ovo predstavlja značajno smanjenje sredstava namenjenih za pogon reaktora, što se ponavlja u nekoliko poslednjih godina. Reaktor je na prvom mestu uspešno radio zahvaljujući prelivanju sredstava sa drugih zadataka Laboratorije NET. To nije najbolja osnova za njegov dalji rad s obzirom na povoljne uslove iz 1980. godine kada je odlučeno da se adekvatno finansiranje reaktora RB vrši namenskim sredstvima.

I.2. REAKTOR RB

I.2.1. Kraći opis reaktora

Reaktor RB je u osnovi kritičan sistem sa teškom vodom predviđen za rad sa prirodnim i obogaćenim uranijumskim gorivom. Reaktorski sud je izrađen od aluminijuma. Cilindričnog je oblika, prečnika 2 m i visine 2.3 m. Podignut je od zemlje i udaljen od zidova hale najmanje 4 m.

Upravljanje reaktrom se izvodi sa komandnog stola koji se nalazi u komandnoj sobi udaljenoj od reaktora oko 15 m. Ova soba je zaštićena pojačanim zidom prema reaktorskoj hali, specijalnim dvostrukim vratima, kao i montažnim zidom od peska unutar hale. U komandni sto su ugrađeni svi kontrolno - merni instrumenti i sve komande. Pored toga u komandnoj sobi se nalazi i dozimetrijski sto sa instrumentima za merenje gama i neutronskog zračenja u hali reaktora, u zgradi reaktora i van nje.

Na suprotnoj strani komandnog stola su privremeno postavljeni ormani sa novim mernim kanalima za praćenje snage reaktora i gama dozimetriju. U planu je njihovo povezivanje sa sigurnosnim i interlock sistemom.

Komandni sistem

Reaktor ima tri sigurnosne i jednu kontrolnu šipku. Treća sigurnosna šipka je prateći nivomer za ručno i automatsko praćenje nivoa teške vode. Pored pratećeg nivomera postoje još dva nivomera, jedan ima ulogu ograničavača nivoa do koga može da se vrši 'brzo' punjenje reaktorskog suda teškom vodom (2.5 cm/min), posle čega je moguće samo 'sporo' punjenje (0.8 cm/min), a drugi služi za ograničavanje maksimalalnog nivoa teške vode u reaktorskom sudu (odnosno za sprečavanje unošenja nedozvoljeno velike reaktivnosti) kao i za precizno očitavanje nivoa moderatora u sudu. Za potrebe formiranja spregnutog brzo-termičkog sistema HERBE, kao i za formiranje konfiguracije sa unutrašnjim konvertorom neutrona ugrađena je nova sigurnosna šipka SŠ3, koja je postavljena umesto kontrolne šipke i ne može se koristiti za automatsko održavanje snage reaktora.

Sporo punjenje reaktoraskog suda moderatorom je moguće samo u intervalima od po 30 s, uz uslov da prateći nivomer radi automatski. Brzina ručnog pomeranja pratećeg nivomera i treće sigurnosne šipke je 0.5 cm/s.

Tačnost merenja nivoa teške vode pomoću pratećeg nivomera je 0.2 mm. Za dizanje sigurnosnih šipki, osim zatvaranja lanca sigurnosti, neophodno je da na start-up kanalu 'A' broj impulsa bude veći od 50 imp/s. Ovaj broj impulsa se obezbeđuje podizanjem neutronske izvora tipa Ra- α -Be (intenziteta 6×10^6 n/s) u njegov gornji položaj (mesto neposredno ispod reaktorskog suda).

Temperatura teške vode se meri platinskim otpornim termometrom vezanim u merni otporni most sa kalibrisanim mernim galvanometrom koji ima rezoluciju od 0.2°C u opsegu temperatura od 15 do 35°C.

Kontrolni sistem

- Komandni sto reaktora RB trenutno ima jedanaest neutronske kanala:
- dva linearna impulsna kanala (CANBERRA) sa BF₃ brojačima (LND 2025) za rad u podkritičnom režimu (kanali 'A' i 'B');
 - dva logaritamska strujna kanala ACC 32 (MERLIN GERIN) sa bornim kompenzacionim komorama tipa CCP1N10 (imaju osetljivost od 1.5×10^{-14} A/n/cm²/s) za merenje snage i periode reaktora (kanali 3 i 4). Merni opseg struje logaritamskih kanala je od 1 pA do 1 μ A. Opseg merenja periode reaktora je od - ∞ do -10 s i od 10 s do ∞ ;
 - dva linearna strujna kanala ACC 3 (MERLIN GERIN) sa bornim kompenzacionim komorama CCP1N10 za merenje fisione snage reaktora (kanali 5 i 6). Jedan od ova dva kanala (kanal broj 6) se koristi za automatsko održavanje snage reaktora. Opseg mernih napona linearnih kanala je od 50 mV do 50 V, uz moguću promenu osetljivosti menjanjem radnih otpora pretpojačavača u odnosu 1:10 i 1:100.
 - jedan linearni strujni kanal F1 (MERLIN GERIN) sa kompenzovanom jonizacionom neutronske komorom CC52, jednosmernim linearnim strujnim pojačavačem SACLISB1 i pripadajucim blokovima. Osetljivost kompenzovane jonizacione komore CC52 na neutrone je 0.031 pA/n/cm²/s, dok je merni opseg strujnog pojačavača od 10 pA do 1 mA;
 - jedan logaritamski strujni kanal F2 (MERLIN GERIN) sa kompenzovanom jonizacionom neutronske komorom tipa CC52, jednosmernim logaritamskim strujnim pojačavačem SPB1 i pripadajucim blokovima. Osetljivost ove komore i merni opseg pojačavača su isti kao i za neutronske kanal F1. Merenje periode reaktora je u opsegu od - ∞ do 30 s i od 30 s do ∞ ; i
 - tri neutronske logaritamske strujne kanala N1, N2 i N3 tipa TK 240 (HARTMAN & BRAUN) sa kompenzovanim jonizacionim neutronske komorama RC 6EB (CENTRONICS). Ovi kanali imaju merni opseg od 1 pA do 0.01 mA, i osetljivost neutronske komore na neutrone od 1.9×10^{-14} A/n/cm²/s. Merenje periode reaktora je u opsegu od - ∞ do 30 s i od 30 s do ∞ ;

Dozimetrijski sistem

- Na dozimetrijskom stolu postoje sledeći merni kanali:
- jedan impulsni kanal za merenje brzine neutronske doze u hali reaktora NDRB (Vinča, Laboratorija NET);
 - tri linearna strujna kanala JP1, JP2 i JP3 (RR Niš) za merenje brzina doza gama

- zračenja u hali reaktora RB, komandnoj sobi i u severnom hodniku u tački najbližoj reaktoru;
- tri logaritamska strujna kanala G1, G2, G3 (HARTMAN & BRAUN) za merenje brzina doza gama zračenja u hali reaktora RB, komandnoj sobi i severnom hodniku, sa jonizacionim komorama od 5.7 litara tipa KG 151 R ispunjenim argonom pod pritiskom (26 bara). Osetljivost ovih komora je 20 pA/mR/h, a merni opseg brzina gama doza je od 0.1 mR/h do 10 R/h.

Pored navedenih stacionarnih instrumenata na reaktoru se koriti i više različitih prenosnih gama i neutronskih dozimetara kao i merača alfa i beta kontaminacije.

Sigurnosni sistem

- Delovanje sigurnosnog sistema reaktora RB je takvo da uvek dovodi do:
- obaranja sve tri sigurnosne šipke;
 - obaranja kontrolne šipke; i
 - prekidanja punjenja reaktorskog suda teškom vodom.

Lanac sigurnosti deluje na principu 1 od 2 za kanale 3 i 4 odnosno 5 i 6 i uključuje ukupno 18 uslova za aktiviranje sigurnosnog sistema, plus dugme za ručno obaranje šipki.

Kanali F1 i F2 su povezani u poseban sigurnosni lanac, blok SBF (Vinča, Laboratorija NET) koji je uključen u postojeći sigurnosni sistem reaktora u cilju postupne zamene starih mernih kanala sa novim.

I.2.2. Eksploatacione mogućnosti reaktora

Reaktor RB je teškovodni termički sistem sa lako promenljivom konfiguracijom jezgra. Ovo se postiže korišćenjem različitih aluminijumskih rešetki sa različitim koracima (7, 8, 9, 12 i 13 cm).

- Na kraju 2000. godine reaktor RB je imao oko 5900 kg teške vode (izotopske čistoće 97.600.05 % mol D₂O, prema merenju od 4.09.1998. godine) i tri vrste nuklearnog goriva:
- 3550 kg metalnog prirodnog uranijuma u obliku 177 gorivnih elemenata;
 - 273 kg metalnog uranijuma niskog obogaćenja (2% ²³⁵U) u obliku 708 cilindričnih gorivnih segmenata; i
 - 9.46 kg visoko obogacenog uranijum dioksida (80% ²³⁵U) u obliku 985 cilindričnih gorivnih segmenata (pri čemu je 485 segmenata pozamljeno sa reaktora RA).

Različite vrste nuklearnog goriva kao i promenljive rešetke omogućuju da se izvrši formiranje različitih konfiguracija. U toku eksploatacije reaktora RB (od 1958. godine do danas) na njemu je formirano preko 450 različitih konfiguracija jezgra.

U reaktor RB se prema potrebi može da postavi više vertikalnih eksperimentalnih kanala prečnika od 20 mm do 300 mm i jedan horizontalni kanal prečnika 20 mm na visini od 60 cm od dna reaktorskog suda.

Eksperimentalne mogućnosti reaktora RB su povećane realizacijom više uređaja za formiranje polja brzih neutrona. Takvi uređaji su:

- spoljašnji konvertor neutrona SKON;
- eksperimentalni kanal unutar gorivnog elementa VINET;
- unutrašnji konvertor neutrona UNUK/SBTS;
- spregnuti brzo-termički sistem HERBE.
- unutrašnji konvertor neutrona sa centralnom šupljinom za ozračivanje uzoraka velikih dimenzija; i
- posuda zapremine 85 cm³ sa borom prirodnog obogaćenja kao neutronskim filtrom za ozračivanje uzoraka u polju brzih neutrona.

Za merenje neutronske fizičke parametara ćelija reaktora RB postoje posebni gorivni elementi sa odgovarajućim šupljinama u gorivu pogodni za ozračivanje folija.

Eksplatacione mogućnosti pokazuju da reaktor RB može da se koristi za istraživanja u različitim oblastima reaktorske i neutronske fizike kao što su:

- eksperimentalna verifikacija računarskih programa koji se koriste za analizu prelaznih režima i udesnih stanja;
- kinetika i sigurnost nuklearnih reaktora;
- kalibracija neutronskih dozimetara;
- stvaranje standardnih gama izvora (³⁶Cl, ⁵⁶Mn i ¹⁹⁸Au) niskog intenziteta;
- ozračivanje uzoraka za potrebe aktivacione analize;
- spektrometrija neutrona; i
- obuka kadrova.

Kao snažan i dobro definisan izvor neutrona, reaktor RB pruža široke uslove za istraživanja u oblasti radiološke zaštite, izučavanja dejstva zračenja na različite materijale i uređaje, kao i za izučavanje zaštitnih svojstava raznih materijala.

I.2.3. Perspektive korišćenja reaktora

U fizici i tehnici nuklearnih reaktora u svetu su aktuelna istraživanja vezana za:

- usavršavanje postojećih energetskih reaktora sa aspekta povećanja nuklearne sigurnosti;
- projektovanje novih intermedijarnih reaktora kod kojih bi se zamena goriva obavljala nakon 10 i više godina;
- analize akcidenata, i
- rešavanje problema odlaganja isluženog goriva i radioaktivnog otpada.

Većina ovih istraživanja zahteva razvoj potpuno novih metoda i računarskih programa. Verifikacija najnovijih računarskih programa se odvija poređenjem sa rezultatima merenja integralnih karakteristika odgovarajućih "benchmark konfiguracija" realizovanih na kritičnim sistemima nulte snage. U Institutu u Vinči (Laboratorija NET) se takođe odvija razvoj novih metoda i računarskih programa u skladu sa postojećim trendom u svetu, a eksperimentalna verifikacija domaćih i dostupnih inostranih računarskih programa se intenzivno obavlja na reaktoru RB.

I pored toga što su mogućnosti reaktora RB ograničene (sa aspekta razvoja lakovodnih

reaktora i reaktora sa mešanim gorivom), održavanje ovog reaktora ima opravdanje u tome:

- što postojeća primena reaktora RB ima važnu ulogu u održavanju aktuelnosti stečenih teorijskih i eksperimentalnih iskustava i eksperimentalnoj verifikaciji razvijenih računarskih programa; i

- što se reaktor RB u svakom trenutku može modernizovati (u pravcu korišćenja mešanog goriva sa UO_2 i PuO_2 i lakom vodom kao moderatorom).

Postojeći trendovi u svetu i mogućnosti reaktora RB su podloga za pružanje perspektive njegovom daljem korišćenju.

Potreba za kontinualnim izučavanjima procesa koji su vezani za prelazne režime u nuklearnim reaktorima i čija je priroda objašnjena još na početku razvoja fizike nuklearnih reaktora, postoji zbog toga što u svetu još uvek nije završeno stvaranje podloga, odnosno biblioteka nuklearnih podataka i verifikovanih metoda na osnovu kojih bi se mogli ovi procesi odrediti sa željenom tačnošću. I pored toga što je poslednjih godina u svetu ostvaren ogroman napredak u ovoj oblasti i što su plodovi tog razvoja dostupni svima (uključujući najnovije biblioteke kao što su ENDF/B-VI, BROND2, JEF2.2, JENDL3.2 i druge, i najnoviji referentni programi tipa MCNP-4B, SCALE-4.3, i drugi) postoje još mnoge oblasti koje tek treba istražiti (kao što su eksperimentalno rešenje "uranijskog i plutonijumskog paradoksa", eksperimentalno i teorisko izučavanje Debajevе temperature za uranijum oksid, izučavanje rezonanci plutonijuma, merenje i evaluacija neutronske preseka za fisione produkte i drugo).

I.2.4. Dosadašnje korišćenje reaktora

Reaktor RB je poslednjih godina (od 1991. do 2000. godine) korišćen u oblastima: kinetike i sigurnosti nuklearnih reaktora; eksperimentalne verifikacije računarskih programa koji se koriste za analizu prelaznih režima i udesnih stanja; evaluacije dobro dokumentovanih konfiguracija ("benchmark" konfiguracija) od značaja za fiziku nuklearnih reaktora sa teškom vodom, kalibracije neutronske dozimetara, stvaranja standardnih izvora gama zračenja niske aktivnosti, ozračivanja različitih uzoraka, kao i obuke kadrova.

Kalibracija novih integralnih ličnih dozimetra domaće proizvodnje u poljima brzih neutrona formiranih u centru spregnutog brzo-termičkog sistema HERBE (jezgro RB#84), u centru konfiguracije za ozračivanje uzoraka velikih dimenzija (jezgro RB#86 i RB#107) i u unutrašnjosti neutronske filtera sa borom (jezgro RB#104), je pokazala da reaktor RB može da se uspešno koristi i kao izvor neutrona različitih energetskih spektara. Pokazano je da reaktor može da se koristi i za stvaranje kratkoživećih radioaktivnih nuklida niske aktivnosti, kao što su ^{38}Cl , ^{56}Mn i ^{198}Au , koji imaju važnu ulogu u kalibraciji poluprovodničkih detektora sa germanijumom. Takođe je korišćenjem reaktora RB za ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK potvrđena mogućnost njegove primene u biološkim istraživanjima.

U toku 2000. godine rešetka reaktora RB je zamenjena jednom. Ukupni rad reaktora RB u 2000. godini je iznosio 33.4 Wh sa 12 "puštanja reaktora u pogon" (dostizanja kritičnosti).

Vreme angažovanja reaktora i eksperimentalnog prostora oko reaktora radi priprema i izvođenja eksperimenata je znatno.

U toku rada nije bilo neželjenih ozračivanja ni kontaminacije materijala, osoblja i

okoline.

Podaci o radu reaktora za proteklih 14 godina su prikazani tabelarno:

Godina	Rad osoblja na pripremi reaktora (Nh)	Broj zamena rešetki* reaktora	Rad ** (Wh)	Broj puštanja reaktora u rad
1986	2250	12	65	97
1987	2500	12	92	147
1988	2000	0	12	23
1989	2650	2	15	10
1990	3000	5	1	23
1991	1700	1	10	14
1992	1800	0	14	25
1993	1800	2	51	184
1994	1800	5	52	68
1995	1800	0	115	18
1996	1800	0	10	5
1997	1800	0	70	66
1998	1800	7	178	40
1999	1800	13	84	24
2000	1800	1	33	12

* Broj zamena rešetke poslednjih godina je smanjen zbog korišćenja konfiguracije HERBE.

** Reaktor je često bio korišćen za eksperimente koji su izvođeni na vrlo niskim snagama (reda mW) kao i u podkritičnim eksperimentima. Vreme angažovanja reaktora i eksperimentalnog prostora oko reaktora radi priprema i izvođenja ovih eksperimenata je znatno. Ovo vreme nije uključeno u prethodnoj tabeli.

Najveći deo rada pogonskog osoblja bio je posvećen, ne neposrednom radu reaktora RB već održavanju postojeće opreme. Takođe, najveći deo aktivnosti eksperimentatora nije bio vezan neposredno za rad reaktora, već za pripremu detektora i nuklearne instrumentacije za potrebna merenja.

Detaljniji uvid o korišćenju reaktora RB se može dobiti iz publikovanih radova navedenih kao reference u izveštajima o radu reaktora RB proteklih godina i u izveštaju za ovu godinu.

I.2.5. Akcidenti i incidenti

U toku 2000. godine nije bilo incidenata i akcidenata na reaktoru RB niti je bilo neželjenih ozračivanja ili kontaminacije materijala, osoblja i okoline. Na nuklearnom gorivu nije došlo ni do kakvih mehaničkih oštećenja košuljice gorivnih elemenata i gorivnih kanala za vreme rada reaktora ili rukovanja gorivom. Zaostala radioaktivnost goriva je održavana na nivou

ranijih godina. Teška voda nije pretrpela nikakvo zagađenje za vreme korišćenja u reaktorskom sudu i za vreme izvođenja eksperimenata unutar reaktorskog suda.

I.3. OPREMA POSTROJENJA

U protekloj godini je za održavanje, instalaciju nove i remont celokupne instrumentacije reaktora utrošeno oko 2350 časova, dok je za održavanje i remont ostale opreme postrojenja utrošeno još 2150 časova. Instrumentacija reaktora je bila u radu oko 850 časova. Prikaz ovih podataka za period od 1986. do 2000. godine je dat tabelarno:

Prikaz rada instrumentacije reaktora RB

Godina	Instrumentacija		Ostala oprema
	Rad (h)	Održavanje (norma h)	Održavanje (norma h)
1986	847	1610	1960
1987	750	1700	2050
1988	550	1750	2550
1989	900	2300	2200
1990	1000	2000	2500
1991	850	1800	2000
1992	1000	2200	2000
1993	1150	2350	2150
1994	1100	2350	2150
1995	1100	2350	2150
1996	850	2350	2150
1997	850	2350	2150
1998	850	2350	2150
1999	850	2350	2150
2000	850	2350	2150

U nastavku ovog dela Izveštaja prikazano je stanje opreme postrojenja u 2000. godini.

I.3.1. Nuklearno gorivo

Reaktor raspolaže sa tri vrste nuklearnog goriva - metalnim sa prirodnim uranijumom, metalim uranijumom obogaćenja 2% ^{235}U i oksidnim gorivom dispergovanim u aluminijumu (UO_2 , obogaćenja 80% ^{235}U). Gorivo sa prirodnim uranijumom je u obliku šipki. Čuva se u drvenom spremištu. Obogaćeno gorivo je u obliku segmenata i čuva se u originalnim metalnim kontejnerima u kojima je transportovano u našu zemlju. Jedan gorivni element sa metalnim prirodnim uranijumom je rastavljen (na 3 šipke dužine po 70 cm). Ostali elementi imaju košuljicu od aluminijuma debljine 1 mm. Tri ovakva gorivna elemenata, zbog sitnih nabubrenja košuljice su van upotrebe. Na jednom segmentu od 2% obogaćenog goriva su načinjeni otvori u eksperimentalne svrhe. Svi segmenti su u ispravnom stanju.

U okviru kontrole nuklearnog goriva od strane inspektora Međunarodne Agencije za Atomska Energiju, koja je vezana za primene garancija na osnovu ugovoru o neširenju nuklearnog oružja, reaktor RB je u potpunosti odgovorio međunarodnim zakonskim obavezama zemlje u 2000. godini. Kontrola od strane inspektora MAAE je vršena svakog meseca.

I.3.2. Teška voda

Teška vode je smeštena u posebnom rezervoaru. Sa raspoloživom količinom teške vode u reaktorskom sudu može da se dostigne visina od 170 cm. Oko 100 kg teške vode se nalazi u posebnim bocama koje su smeštene u istoj podrumskoj prostoriji u kojoj se nalazi i rezervoar. Izotopski sastav teške vode se kontroliše jednom godišnje u Laboratoriji za fizičku hemiju Instituta u Vinči. U poslednjem merenju od 8.03.1996. godine je dobijeno da teška voda sadrži 97.86 ± 0.05 % mol D₂O. Teška voda je bistra, a poslednje merenje njenog bazno-kiselog karaktera pokazuje da pH faktor ima vrednost od 6.60 ± 0.05. Rezultati merenja izvršeni u Mađarskoj za dva uzorka pokazuju da je za uzorak od 4.09.1998. godine težinska frakcija teške vode iznosila 96.85% D₂O a za uzorak od 5.06.2000. godine 97.59%.

I.3.3. Reaktorski sud

Redovnim pregledima reaktorskog suda u toku 2000. godine nisu ustanovljena oštećenja zidova i dna, i na njima nema pojava taloga. Potporne ploče - držači gorivnih kanala, koje se stavljaju na dno i vrh suda, su takođe u ispravnom stanju.

I.3.4. Cirkulacioni sistem teške vode

Cevovod, rezervoar i pumpa za tešku vodu su trenutno u dobrom stanju. Pumpa za vodu je obložena nerđajućom čelicom košuljicom u delu kroz koji protiče teška voda. Snaga pumpe je 0.55 kW. U toku 2000. godine nije bilo otkaza na pneumatskim ventilima za punjenje teške vode. Trenutno svi postojeći ventili na sistemu (ručni, elektromagnetni i pneumatski) rade ispravno, a na celokupnom sistemu nigde ne dolazi do curenja teške vode. Ventili koji su popravljani ranijih godina i dalje rade ispravno. Nabavljeni su novi ventili domaće proizvodnje. Njihova ugradnja će biti izvršena kod prvog kvara postojećih ventila. Sa aspekta nuklearne sigurnosti kvar na ventilu ne može da dovede do akcidenta, već samo do prekida rada reaktora.

I.3.5. Elektronska oprema

Najveći deo ove opreme se nalazi u neprekidnom radu duže od 30 godina. Broj otkazivanja pojedinih komponenti opreme sve više se povećava o čemu govori i broj časova pogonskog osoblja utrošenih za održavanje instrumentacije. Ova otkazivanja znatno otežavaju rad reaktora naročito posle perioda dužeg stajanja (godišnji odmori).

Deo nabavljene opreme sa reaktora SNEAK će zameniti stare gama dozimetrijske kanale i logaritamske neutronske kanale za praćenje snage reaktora.

I.3.6. Mašinska i elektro oprema

Ova oprema je u neprekidnom radu takođe preko 30 godina. I pored planskog i redovnog održavanja, zastarelost i "istrošenost" ove opreme pričinjavaju znatne poteškoće u radu.

I.3.7. Pomoćni sistemi i oprema

Pomoćni sistemi i oprema, koje sačinjavaju instalacije ventilacije, grejanja, gasa, vodovoda, kanalizacije i komprimovanog vazduha, telefonsa instalacija, sistem jedinstvenog pokazivanja vremena, kao i oprema za protivpožarnu zaštitu su uglavnom u dobrom stanju i ispravno su funkcionisali u toku protekle godine.

Najveći kvarovi i održavanje celokupne opreme sistema u 2000. godini su detaljno prikazani u II delu ovog Izveštaja.

I.3.8. Eksperimentalna i računarska oprema na reaktoru RB

Eksperimentalnu i računarsku opremu reaktora RB čine:

- merni start-up kanali reaktora RB;
- detektori neutrona, gama, beta i alfa zračenja i različiti nuklearni moduli;
- visekanalni analizator Canberra S-90;
- sistem za detekciju alfa i beta zračenja niskog intenziteta, Canberra 2400F;
- računarski sistem VAX-8250 (instalisan 1987. godine) sa programima za obradu rezultata merenja gama aktivnosti uzoraka pomoću poluprovodničkog detektora sa germanijumomom;
- PC-486/66MHz računar sa programima za obradu rezultata merenja gama aktivnosti uzoraka pomoću poluprovodničkog detektora sa germanijumomom, sa pločom i programima za kontinualno praćenje brzine apsorbirane doze gama zračenja u zgradi reaktora RB, sa standardnim ADC konvertorom za prenošenje analognih signala sa strujnih kanala reaktora RB na računar PC-486 i programima za obradu ovih signala; i
- PS/2 IBM računar za brzi prenos podataka sa višekanalnog analizatora Canbera S-90 na disk PS/2; i
- plotter HP -7475A;

Trenutno, celokupna eksperimentalna i računarska oprema reaktora RB je u ispravnom stanju.

Prethodnu ulogu računarskog sistema VAX-8250, takođe značajnu, vezanu za razvoj i korišćenje računarskih programa su preuzeli personalni računari.

I.4. DOZIMETRIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA

I.4.1. Nivoi gama i neutronskog zračenja

Stalna kontrola brzina doza gama i neutronskog zračenja na reaktoru RB se vrši pomoću ugrađenog stacioniranog sistema. Takođe se redovno vrše merenja pomoću prenosnih instrumenata za detekciju neutronskog i gama zračenja. Za snage veće od 1 W reaktor RB se isključivo koristi u poslepodnevnim satima (van radnog vremena). U toku rada na ovim snagama vrše se višestruka merenja brzina doza zračenja u dozimetrijskim tačkama u zgradi reaktora RB i njenoj bližoj okolini.

Merenje brzina doza neutronskog i gama zračenja pokretnim instrumentima vrši osoblje pogona reaktora RB i dežurni dozimetrista Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine.

U toku 2000. godine brzine doze gama i neutronskog zračenja u zgradi reaktora su dostizale uobičajene i dozvolje granice, što znači da osoblje pogona reaktora RB prima još oko 0.3 mSv godišnje usled održavanja i eksploatacije samog reaktora RB i drugih izvora zračenja u hali ovog reaktora. Podaci o izmerenim vrednostima brzina doza neutronskog i gama zračenja se unošene u pogonsku dokumentaciju reaktora RB (Knjiga dozimetriste i Obrzac RB br. 11).

I.4.2. Kontaminacija radne sredine, predmeta i ljudstva

Kontrola radioaktivnosti u vazduhu i stepena kontaminacije radnih površina u zgradi reaktora se vrši povremeno. Praćen je opšti nivo aerosolne i gasne aktivnosti u vazduhu, koji se iz hale reaktora izbacuje u spoljašnju sredinu preko dva postojeća ventilatora i kroz transportni ulaz u halu. Aerosolna kontaminacija se prati uzimanjem uzoraka na specijalnim filterima.

Ova ispitivanja su pokazala da se na reaktoru RB ne dešava kontaminacija ljudstva, odela i opreme (kako za vreme rada reaktora, tako i za vreme remontnih radova i prilikom rukovanja nuklearnim gorivom).

Pojedini radioaktivni otpaci manjih aktivnosti, koji se za vreme rutinskih operacija na reaktoru RB povremeno stvaraju, sakupljaju se u odgovarajući metalni kontejner u hali reaktora, a zatim se odnose na centralnu radioaktivnu deponiju otpadaka u krugu Instituta u Vinči. Preuzimanje i transport i čuvanje ovih otpadaka vrše stručne službe Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine.

I.4.3. Ozračivanje osoblja

Osoblje koje opslužuje reaktor RB, kao i radnici koji izvode eksperimente na reaktoru, poseduju lična dozimetrijska sredstva: TL-dozimetre i penkalo-dozimetre (pomoću kojih se

direktno mere i određuju doze neutronske i gama zračenja kojima je osoblje bilo izloženo). TL-dozimetre poseduju svi radnici Laboratorije NET, a takođe i svi radnici koji svoje poslove obavljaju u zgradi reaktora RB.

Penkalo dozimetre sa direktnim očitavanjem doza neutronske i gama zračenja poseduju članovi pogona reaktora RB, a daju se i radnicima koji izvode eksperimente na reaktoru. Ovi dozimetri se očitavaju odmah, a redovno jednom nedeljno, tako da se pomoću njih prati neposredno i trenutno ozračivanje ljudstva i o tome se vodi evidencija u dozimetrskoj dokumentaciji reaktora.

U toku 2000. godine, registrovane doze ozračivanja članova pogona, zatim eksperimentatora koji su učestvovali u izvođenju eksperimenata na reaktoru, kao i radnika Laboratorije za termotehniku i energetiku čija su radna mesta u zgradi reaktora RB, su bile na nivou prirodnog fona u Vinči. Registrovane doze zračenja osoblja pogona u 2000. godini su prikazane tabelarno.

Apsorbovane doze gama zračenja za stalno osoblje pogona reaktora RB u periodu januar 2000. - decembar 2000. godine

Ime i Prezime	Apsorbovana doza zračenja (mSv)
Miodrag Milošević	0.92
Milan Pešić	0.88
Nebojša Dašić	0.88
Vladan Ljubenov	0.92
Milun Jevremović	0.80

Podatke o internoj kontaminaciji i ozračivanju osoblja prati i arhivira Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta u Vinči. Prema registrovanim nivoima kontaminacije radne sredine, interno ozračivanje ljudstva je zanemarljivo u odnosu na dozvoljene doze.

I.5. OSOBLJE POGONA REAKTORA

Pogon i održavanje reaktora RB vrši osoblje čiji stalni sastav čine:

- rukovodioc Projekta "Istraživački nuklearni reaktor RB";
- šef pogona;
- fizičar pogona;
- operativni dozimetrista;
- viši operator; i
- pomoćnik operatora.

Direktor Laboratorije NET i šef pogona su odgovorni za nesmetan i bezbedan rad reaktora.

Rukovodilac Projekta je odgovoran za realizaciju zadataka predviđenih ugovorom sa Ministarstvom za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

Šef pogona reaktora, prema Propisima i uputstvima za rad reaktora RB, rukovodi njegovim pogonom i odgovoran je za sve operacije na reaktoru, kao i za sve eksperimente koji se na njemu izvode.

Fizičar pogona vodi računa o nuklearnoj i radijacionoj sigurnosti reaktora RB.

Operator upravlja reaktorom prema pogonskim instrukcijama i direktivama šefa pogona, dok je pomoćnik operatora odgovoran za održavanje elektronskih, mehaničkih i električnih komponenti postrojenja i pratećih sistema.

Operativni dozimetrista pripada Službi zaštite od jonizujućih zračenja (Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine) u Institutu u Vinči i prati nivoe zračenja u kontrolisanoj zoni reaktora i u zgradi reaktora RB i u njenoj neposrednoj blizini.

Za tehničko osoblje pogona reaktora propisani su određeni programi obuke i ispiti koji se sastoje od teorijskog i praktičnog dela, kroz koje svaki član pogona mora da prođe. U cilju održavanja kvaliteta pogona, osoblje pogona se podvrgava i proveru znanja za vršenje odgovarajućih operacija i dužnosti u određenim vremenskim intervalima najčešće svake godine, a najmanje jednom u tri godine.

Kadrovska struktura osoblja angažovanog na reaktoru RB je prikazana u narednim Tabelama.

Osoblje angažovano na reaktoru RB u 2000. godini

Redni broj	Opis angazovanja	Vreme angazovanja (broj meseci)
<i>a) Stalno osoblje pogona reaktora RB</i>		
1.	Rukovodilac Projekta	6
2.	Šef pogona reaktora	12
3.	Fizičar u pogonu	6
4.	Viši operator	12
5.	Pomoćnik operaora	6
6.	Operativni dozimetrista u pogonu	6
<i>b) Administrativno i pomoćno osoblje</i>		
1.	Higijeničar NET	6

Kvalifikaciona struktura osoblja angažovanog u pogonu reaktora RB u 2000. godini.

Red. br.	Poslovi u pogonu	Ime i prezime	Period rada (meseći)	Stručna sprema
<i>a) Pogonsko osoblje</i>				
1.	Rukovodilac Projekta	dr M.Pešić,	5	VSS
		dr D.Stefanović	1	VSS
2.	Šef pogona	mr M.Milošević	12	VSS
3.	Fizičar u pogonu	N.Dašić	6	VSS
4.	Visi operator	M.Jevremović	12	SSS
5.	Pomoćnik operatora	G.Paunović (L-100)	6	SSS
6.	Operativni dozimetrista	NN (druga Lab.)	6	SSS
<i>b) Administrativno i pomoćno osoblje</i>				
1.	Spremačica NET	D.Stanojević	6	NSS

* Operativni dozimetrista je radnik Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine u Institutu u Vinči. Za njegovo angažovanje ova Laboratorija dobija deo sredstava realizovanih na ovom Projektu.

I.6. TROŠKOVI RADA REAKTORA

Za Projekat "Istraživački nuklearni reaktor RB" u 2000. godini kod Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije (MNT RS) je planirana ukupna suma od 540.000,00 dinara. Do pisanja ovog izveštaja ugovor još nije potpisan. Zaključno sa 10. martom 2001. godine od strane MNT je za pogon i održavanje reaktora RB za 2000. godinu uplaćeno Institutu oko 280.000,00 dinara (što iznosi 50 % planiranih sredstava za period do kraja decembra 2000. godine).

Planska potrebna finansijska sredstva za pogon i održavanje reaktora RB u 2001. godini su:

Sredstva MNT Republike Srbije

U 2000. godini, do kraja decembra, je bilo izdvojeno ukupno 280.000,00 dinara.

U 2001. godini se očekuje da planska finansijska sredstva za pogon i održavanje reaktora RB budu oko 905.000,00 dinara.

I.7. ZAKLJUČCI

U pogledu rada reaktora RB i održavanja opreme celog postrojenja u 2000. godini, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- reaktor je u toku 2000. godine radio potpuno sigurno i bezbedno po osoblje koje ga opslužuje, a takođe i po ostale radnike u zgradi reaktora RB i van nje. U toku godine nije se desio ni jedan incident ili akcident vezan za rad reaktora;
- kontrola i održavanje celokupne opreme postrojenja, kao i potrebni remontni radovi, urađeni su uspešno u okviru tehničkih mogućnosti.
- reaktor RB je u 2000. godini radio manje u odnosu na plan rada zbog toga: što spoljašnji korisnici reaktora nisu izvršili neophodne pripreme za obavljane planiranih merenja i što je jedan broj eksperimenata izveden korišćenjem postojećih stacionarnih izvora neutrona. Ukupno reaktor RB je dostizao kritičnost 12 puta. Broj sati rada reaktora je bio u granicama uobičajenog godišnjeg korišćenja reaktora i iznosio je 33 Wh;
- obnavljanje dotrajale opreme postrojenja reaktora RB i dalje ostaje važan zadatak Laboratorije NET i svih zainteresovanih za njegov bezbedan rad;
- finansijska sredstva za potrebe pogona i održavanje reaktora u 2000. godini, ostvarena preko MNT Republike Srbije, pokrivaju 50% ukupnih troškova. Laboratorija NET nije mogla da učestvuje u troškovima za potrebe pogona i održavanja reaktora RB jer je u ovoj godini ostvarila samo manje ugovore sa svojim dugogodišnjim saradnicima (manje po finansijskim sredstvima a ne i po obimu); i
- zbog slabe materijalne situacije ni ove godine nisu mogle da se realizuju planirane nabavke repromaterijala i rezervnih delova.

U vezi sa pogonom i eksploatacijom reaktora u 2001. godini i tekućem planskom periodu, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- korišćenje reaktora RB je planirano u okviru više složenih Projekata kod MNT koji obuhvataju problematiku nuklearne sigurnosti i zastitu od zračenja na nuklearnim postrojenjima,
- nuklearni reaktor RB će se koristiti i za osnovna istraživanja u oblasti tehničko-tehnoloških nauka i prirodnih nauka, a takođe i za potrebe opštenarodne odbrane i zaštite profesionalnog osoblja i stanovništva od nuklearnog zračenja;
- planirani korisnici usluga reaktora RB u narednom periodu su:
Učesnici naučnih i tehničko-tehnoloških projekata kod Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije,
Učesnici projekata kod Ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu Savezne Republike Jugoslavije,
Vojska Jugoslavije,
Univerzitet u Beogradu
Združeno elektroprivredno preduzeće - Beograd, i
Međunarodna agencija za atomsku energiju iz Beča.
- da bi se obezbedio nesmetan i bezbedan rad reaktora RB, potrebno je i dalje nastaviti sa njegovim namenskim finansiranjem;
- za potrebe instalacije nove opreme u cilju zamene zastarele potrebno je izdvojiti i dodatna materijalna sredstva za realizaciju manjih nabavki repromaterijala i rezervnih delova u zemlji, a delimično i u inostranstvu;
- za zamenu dotrajale opreme reaktora RB, neophodno je obezbediti dodatna investiciona sredstava.

I.8. REFERENCE

1. D.Popović
The Bare Critical Assembly of Natural Uranium and Heavy Water, Proceedings of the 2nd UN International Conference on Peaceful Use of Atomic Energy, Vol. **12**, pp. 392-394, Geneva (September 1958)
2. D.Popović, S.Takač, H.Marković, N.Raišić, Z.Zdravković, Lj.Radanović
Zero Energy Reactor RB, *Bulletin of the "Boris Kidrič" Institute*, Vol. **9**, No.168, pp. 1-13, Vinča (March 1959)
3. N.Raišić, D.Popović, S.Takač, H.Marković, R.Martinc, Lj.Radanović
Measurement of Safety Rod Effectiveness of the Zero Energy Reactor RB, *Bulletin of the 'Boris Kidrič' Institute*, Vol. **9**, No. 170, pp. 21-27, Vinča (1959)
4. D.Popović, N.Raišić, H.Marković, S.Takač, Z.Zdravković, B.Lolić
Measurement of M^2 and k_{∞} for a Heavy Water - Natural Uranium Assembly, *Bulletin of the "Boris Kidrič" Institute*, Vol. **9**, No. 169 pp. 15-19 Vinča (1959)
5. D. Nikolić, M. Milošević, M. Pešić
Fast Neutron Spectra and Transmission Measurements, *Acta Physica Hungarica*, Vol.**59**, No.1-2, pp. 107-110, 1986.
6. D.Nikolić, M.Milošević, M.Pešić
The Fast Neutron Spectrum Measurements with Scintillation Detector, Proceedings of International Conference on Fast Neutron Physics, Dubrovnik Yugoslavia (May 26-31, 1986)
published in book: 'Fast Neutron Physics', (eds.: Đ.Miljanić, B.Antolković), G.Paić, pp. 240-242, Ruđer Bošković Institute Zagreb Yugoslavia, 1986.
7. D.Nikolić, M.Milošević, M.Pešić
The Doppler Effect Measurement on ^{238}U , Proceedings of Annual Meeting on Nuclear Technology '87, pp. 67-70, Karlsruhe FRG, June 1987.
8. M.Šokčić-Kostić, M.Milošević, M.Pešić
Measurement of Adjoint Flux at the RB Reactor, Proceedings of Annual Meeting on Nuclear Technology '87, pp. 779-782, Karlsruhe FRG, June 1987.
9. D.Nikolić, M.Milošević, M.Pešić
Measurement of Fast Neutron Spectrum From Iron Shielded Americium - Beryllium Source, Extended Synopses of 4th European Congress and 13th Regional Congress of IRPA, p.205, Salzburg Austria (1986),
published in book: 'Twenty Years Experience in Radiation Protection', (eds.: E.Tschirf, A.Hefner), pp. 621-624, Oester.Verband fuer Strahlenschutz, Seibersdorf, Austria 1988.
10. D. Nikolić, M.Milošević
Measurement of the Neutron Spectrum Behind the Silicon Resonance Filter, on the Radiation Protection Selected Topics, Dubrovnik, p. 338, 1989.
11. M. Milošević, D. Stefanović, M. Pešić, D. Popović, D. Nikolić, D. Antić, N. Zavaljevski
Design Characteristics of Research Zero Power Fast Reactor LASTA, Inter. Conf. Physics of Reactors: Operation, Design and Computation - PHYSOR 90, Marseille, France, April 23-27, 1990. Vol. **3**, pp. PI.120-125, 1990.

12. M. Mataušek, M. Pešić, M. Milošević, N. Zavaljevski, D. Nikolić, N. Marinković, R. Simović, V. Stančić, S. Avdić
Experimental Verification of Methods and Codes Used in Design Studies of New Reactor Concepts and Improved In-Core Fuel Management Schemes, IAEA Project No. 5207/RB, Vienna 1990.
13. M. Pešić, N. Zavaljevski, M. Milošević, D. Stefanović, D. Popović, D. Nikolić, P. Marinković, S. Avdić
A Study on Criticality of Coupled Fast-Thermal Core HERBE at RB Reactor, *Annals of Nuclear Energy*, UK, Vol. **18**, No.7. pp. 413-420 (1991)
Oktobarska nagrada grada Beograda, 20. oktobar 1991.
14. M. Pešić, P. Marinković, D. Stefanović
Measurement of Drop-in Times of Safety Rods of 'HERBE' Fast-Thermal Coupled System, Proc. of Jahrestagung - Kerntechnik '91, pp. 619-622, Bonn, May 14-16, (1991)
15. M. Pešić
Analysis of Criticality Safety of Coupled Fast-Thermal Core HERBE, Proc. of the International Conference on Nuclear Criticality Safety - ICNC'91, Vol.1-3, Vol. **2**, pp. V-196 - V-203, Oxford, U.K., September 9-13 (1991)
16. M. Šokčić-Kostić, M. Pešić, D. Antić
Determining of the Characteristic of the Fast Neutron Fields at the RB Reactor, *Transactions of ANS*, Vol. **64**, pp. 576-577 San Francisco, November 10-14, (1991)
17. M. Pešić, P. Marinković, M. Milošević, N. Zavaljevski, D. Popović, D. Stefanović, S. Avdić, D. Antić, N. Hadžimahmutović, R. Simović, N. Marinković, B. Bojović, M. Josipović, M. Arsenović
"Finalni sigurnosni izveštaj sistema HERBE", IBK-NET-54, Institut za nuklearne nauke, Vinča, Mart 1991.
18. M. Pešić, N. Zavaljevski, P. Marinković, M. Milošević, D. Stefanović, D. Nikolić, S. Avdić,
Validation Experiments of Nuclear Characteristics of the Fast-Thermal System HERBE, International Conference 'Nuclear Data for Science and Technology', Jülich, May 13-17 (1991), in book: (editor S.M. Qaim) 'Nuclear Data for Science and Technology', pp. 458-460, Springer-Verlag (1992)
19. S. Avdić, M. Pešić
The RB Reactor Uranium Fuel Enrichment Verification by Gamma-Ray Spectrometry, Applied Radiation and Isotopes, *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation*, Part A, Vol. **43**, No.9, pp.1155-1157, (1992)
20. M. P. Pešić, M. J. Milošević
The 'RB' Reactor as a Source of Fast Neutrons, Proceedings of the International Nuclear Congress and Exhibition, INC'93, Toronto, Ontario, Canada, October 3-6, 1993. Vol. **2** (Vol. 1-3) pp. C11.2-1 - C11.2-8, 1993.
21. M. Milošević, M. Pešić, S. Avdić, D. Nikolić
A Study of the Effective Delayed Neutron Fraction in the Coupled Fast-Thermal System HERBE, Proceedings of the International Conference on 'Reactor Physics and Reactor Computations', Tel Aviv Israel, January 23-26, 1994, pp.485-491, 1994.

22. M.Milošević, M.Pešić, D.Nikolić
Conceptual Design of Control and Safety Systems of the Fast Reactor LASTA, Proceedings of ANS 1994 Topical Meeting on Advances in Reactor Physics: Reactor Physics Faces the 21st Century, Knoxville, Tennessee USA April 11-15, 1994, Vol. **II**, pp.429-434,1994.
23. M.Milošević, M.Pešić, S.Avdić, D.Nikolić
Analysis of the Effective Delayed Neutron Fraction in the Coupled Fast-Thermal System HERBE, Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Sciences and Technology, Gatlinburg, Tennessee USA, May 9-13, 1994, Vol. **2**, pp.1017-1019, 1994.
24. M.Milošević, M.Pešić, S.Avdić, D.Nikolić
Measurements of β_{eff} in the Coupled Fast-Thermal System HERBE, *Transaction of ANS*, Vol. **70 (1)**, pp.388-389, 1994.
25. M.Pešić, M.Milošević
A Study of the 'RB' Reactor Accident, Proceedings of the Fifth International Conference on Nuclear Criticality Safety ICNC'95, Albuquerque, New Mexico USA, September 17-21, 1995, Vol. **1 (Vol.1-2)**, pp.10.3-10.10, 1995.
26. M.Milošević, M.Pešić, S.Avdić, D.Nikolić
A Comparative Study of Effective Delayed Neutron Fraction
Annals of Nuclear Energy, UK, Vol. **22**, No.6. pp. 389-394 (1995)
27. M.Milošević, M.Pešić, T.Milovanović, V.Ljubenov
Verification of Void Effect Calculation, *Transaction of ANS*, Vol. **73 (1)**, pp.404-406, 1995.
28. M.Pešić, S.Cupać
Research Reactors: Working in a Difficult Regime, *Nuclear Engineering International*, Vol. **41**, No.498, pp.40-41 (January 1996)
29. M.Pešić, P.Marinković, M.Milošević, N.Zavaljevski, D.Nikolić, S.Milovanović
Kinetic Experiments at Coupled Fast-Thermal Core HERBE, International Conference on the Physics of Reactors - PHYSOR 96 (Breakthrough of Nuclear Energy by Reactor Physics), Mito, Ibaraki, Japan, September 16-20, 1996, Vol. **3**, pp. J.219-J.228, 1996.
30. N.Zavaljevski, Lj.Kostić, M.Pešić, A.Zavaljevski,
Adaptive Estimation of the Prompt-Neutron Decay Constant Using Autoregressive Moving Average Modeling, *Nuclear Science and Engineering*, Vol. **122**, No.1, pp.68-78 (January 1996)
31. Lj.Kostić
Monitoring of the Temperature Reactivity Coefficient at the PWR Nuclear Power Plant, *Annals of Nucl. Energy*, **24(1)**, pp.55-64 (January 1997)
32. M.Pešić, M.Milošević, S.Milovanović
Dosimetry Characteristics of Coupled Fast-Thermal Core HERBE, The 5th International Conference on Applications of Nuclear Techniques 'Neutrons in Research and Industry, Crete, Greece June 9-15, 1996, published in: International Conference: Neutrons in Research and Industry, Proc. SPIE 2867, pp. 306-309 1997.

33. M.Milošević, M.Pešić
An Analysis of Burnup Reactivity Credit for Reactor RA Spent Fuel Storage, The ENS 1st International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management - RRFM'97, Bruges, Belgium, February 5-7, pp.188-191, 1997.
34. M.J.Milošević, M.P.Pešić
An Analysis of Uncertainties in the Reference Resonance Absorption Calculations, Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology - NDST'97, Trieste, Italy May 19-24, 1997, Vol. 59, Part I, pp.1021-1023, 1997.
35. M.J.Milošević, M.P.Pešić
An Analysis of Influence of Methods for Processing an Evaluated Data Set in Reference Calculation through the Resonance Region, Proceedings of Joint International Conference on Mathematical Methods and Supercomputing for Nuclear Applications - M&C and SNA'97, Saratoga Springs, NY USA, October 5-9, 1997. Vol. 1, pp. 284-291, 1997.
36. M.Pešić, M.Milošević, D.Antić, M.Šokčić-Kostić
Research Reactor RB - Device for Cooperation in Nuclear World on Balkan Peninsula, Proceedings of the Yugoslav Nuclear Society Conference - YUNSC'96, Beograd FRY, October 7-9, 1996, (editor D.Antić), *Vinča Institute of Nuclear Sciences Bulletin*, Vol. 2, Supplement 1, pp.275-281 1997.
37. M.J.Milošević, M.P.Pešić
An Analysis of Burnup Reactivity Credit for Reactor RA Spent Fuel Storage, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 180, 29-35 (1998).
38. M.J.Milošević, M.P.Pešić
Validation of the VEGA Spectrum Assembly Code and MCNP Monte Carlo Code for D₂O Moderated Uranium Lattices, Second International Yugoslav Nuclear Society Conference - YUNSC'98, Beograd, Yugoslavia, September 28 - October 1, 1998, (editor D.Antić), *Vinča Institute of Nuclear Sciences Bulletin*, Vol. 3, Supplement 1, pp.109-115, 1998.
39. M.J.Milošević, M.P.Pešić, N.M.Dašić, V.Ljubenov
Determination of Neutron Flux Distribution Across the RB Reactor njith Large Central Air Hole, Second International Yugoslav Nuclear Society Conference - YUNSC'98, Beograd, Yugoslavia, September 28 - October 1, 1998, (editor D.Antić), *Vinča Institute of Nuclear Sciences Bulletin*, Vol. 3, Supplement 1, pp.365-370, 1998.
40. M.Pešić
RB Reactor In-core Fuel Management, Transaction of the ENS 3rd International Topical Meeting on 'Research Reactor Fuel Management - RRFM'99', pp. 177-181, Bruges, Belgium (March 28-30, 1999)
41. M.P.Pešić, M.M.Ninković
Comparison of the MCNPTM Calculated and Measured Radiation Field Quantities Near the RB Reactor, *Health Physics*, Vol. 77, No.3, pp.276-281 (September 1999)
42. M.Pešić, M.Milošević, M.Sumini
Verification of Computer Codes at LEU - Heavy Water Benchmark Experiments
Proceedings of the International Symposium on Nuclear Energy - SIEN'99, Part II, paper no. 3.1, pp. 309-312, Bucharest, Romania (October 15-16, 1999)

43. D. Mostacci, V. Molinari, F. Teodori, M. Pešić
The Effect of Straggling on the Slowing Down on Neutrons in Radiation Protection Proceedings of the International Symposium on Nuclear Energy - SIEN'99, Part I, paper no. 2.1, pp. 141-145, Bucharest, Romania (October 15-16, 1999)
44. M. P. Pešić
RB Reactor: Natural Uranium Rods in Heavy Water, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(95)03/IV, Vol. IV, contribution LEU-MET-THERM-001, pp. 2+46, 1999 Edition, OECD/NEA, Nuclear Science Committee, Paris, France (September 30, 1999)
45. M. P. Pešić
RB Reactor: Lattices of 2%-Enriched Uranium Elements in Heavy Water, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(95)03/IV, Vol. IV, contribution LEU-MET-THERM-002, pp. 2+146, 1999 Edition, OECD/NEA, Nuclear Science Committee, Paris, France (September 30, 1999)
46. M. Pešić, S. Cupać, Z. Vukadin
Management of Ageing Research Reactors in the 'Vinča' Institute, IAEA International Symposium on Research Reactor Utilization, Safety and Management, Lisbon, Portugal (September 6-10, 1999) paper no. IAEA-SM-360/042P, Proceedings, pp. 042P.1-042P.10 at the CD ROM IAEA-SCP-360, Vienna Austria (1999), Book of Extended Synopses, IAEA-SM-360/042P, pp. 181-182, IAEA-SM-360 (1999)
47. M. Pešić, N. Nešković, I. Plećaš
ADS Project in the Vinča Institute, Proceedings of the International Meeting on Sub-Critical Accelerator Driven Systems, pp. 27-33, SSC RF ITEP, Moscow, Russia (October 11-15, 1999)
48. M. Pešić
Moderni istraživački reaktori i reaktor RA, u monografiji *Istraživački reaktor RA. Revitalizacija, modernizacija i korišćenje* (ed. M. Davidović), str. 9-56, Institut za nuklearne nauke 'Vinča', Vinča (1999)
49. N. Dašić, M. Pešić
Sensitivity of the Results on Criticality Safety of Fuel Wooden Storage Case at the RB Research Reactor, Annual Bulgarian Nuclear Society Conference, Sofia, Bulgaria (November 19-20, 1998), *BGNS Transactions*, Vol. 4, No. 1, p. 18 (1999)
50. M. Milosevic, M. Pesic, I. Plecas, D. Nikolić, D. Antić, N. Dašić
Modelling of Fast Neutron Spectra at the RB Critical Assembly for Applications in Dosimetry and Biology, Annual Bulgarian Nuclear Society Conference, Kozloduy, Bulgaria (November 25-26, 1999), *BGNS Transactions*, Vol. 5, No. 1, p. 44 (2000)
51. M. Pešić, N. Sobolevsky
ADS with HEU in the Vinča Institute, Proceedings of the 10th International Conference on 'Emerging Nuclear Energy Systems' - ICENES 2000, pp. 420-428, Petten, The Netherlands (September 25-28, 2000)
52. V. Ljubenov, M. Milošević, M. Pešić
Determining the Neutron Flux in a Graphite Block with Ra- α -Be Source, *Transaction of ANS*, Vol. 83, No. 1, pp. 431-432, Washington DC, USA (November 12-16, 2000)

-
53. N. Dasic , M.Milosevic
Monte Carlo Simulation of Neutron Flux Outside the Active Core, *Transaction of ANS*,
Vol. **83** (1),, pp.428-430, 2000.
54. M.P.Pešić
RB Reactor: Lattices of 80%-Enriched Uranium Elements in Heavy Water,
International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments,
NEA/NSC/DOC(95)03/II, Vol. **II**, contribution HEU-COMP-THERM-017, pp.2+189,
2000 Edition, OECD/NEA, Nuclear Science Committee, Paris, France (September 30,
2000)

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu u 2000. godini

II Deo
OPREMA POSTROJENJA I NJENO ODRŽAVANJE

II.1. KONTROLA I ODRŽAVANJE OSNOVNIH KOMPONENTI REAKTORA

II.1.1. Nuklearno gorivo

Svake godine se vrši redovna kontrola nuklearnog goriva, kako u pogledu zaostale radioaktivnosti nakon korišćenja, tako i u pogledu mehaničkih svojstava košuljice gorivnih segmenata i gorivnih elemenata. Kontrola gorivnih elemenata u 2000 godini je pokazala da na njima nema novih promena u odnosu na utvrđeno stanje u prethodnim godinama.

Pregledom je konstatovano sledeće:

- postoji ukupno 177 gorivnih elemenata od metalnog prirodnog uranijuma;
- gorivni element (br. 208) sa metalnim prirodnim uranijumom je rastavljen (na 3 šipke dužine po 70 cm);
- postoji 708 gorivnih segmenata od metalnog uranijuma obogaćenja 2% ^{235}U ,
- jedan gorivni segment od metalnog uranijuma obogaćenja 2% ^{235}U je izbušen radijalno na više mesta za potrebe merenja prostornih i energetkih raspodela neutrona u ćeliji rešetke reaktora;
- postoji ukupno 985 gorivnih segmenata sa uranijum-dioksidom obogaćenja 80% ^{235}U dispergovanim u aluminijumu;
- deset segmenata sa UO_2 obogaćenja 80% ^{235}U su modifikovani vađenjem centralnog odstojnika (kojim se reguliše protok teške vode) tako da čine eksperimentalni gorivni kanal - VINET.

Kontrolu inventara goriva vrše Komisija generalnog direktora Instituta u Vinči (jednom godišnje) kao i inspektori Međunarodne Agencija za Atomsku Energiju iz Beča (jednom mesečno).

II.1.2. Teška voda

Raspoloživa količina teške vode u rezervoaru iznosi 5900 kg. Prebacivanjem teške vode iz rezervoara u reaktorski sud, može da se dostigne visina od 170.0 cm.

U originalnim bocama za tešku vodu se nalazi još oko 100 kg teške vode razdvojene prema poreklu: deo originalne pošiljke iz bivšeg SSSR-a, deo iz Engleske korišćen u dozimetrijskom eksperimentu 1960. godine, deo nakon precišćavanja vode u 1970. godini i voda koja se pri zameni potpornih ploča skuplja sa dna reaktorskog suda. Ova poslednja se ne koristi u reaktoru.

Prema poslednjem merenju, izvršenom 8.03.1996. godine, teška voda je imala sastav 97.86 ± 0.05 % mol D_2O . Na osnovu dosadašnjeg trenda, degradacijom teške vode prosečno se svake godine povećava koncentracija lake vode za oko 0.08% mol. Merenje bazno-kiselog karaktera teške vode izvršeno 8.03.1996. godine pokazuje da pH faktor iznosi 6.60 ± 0.05. Analize takođe pokazuju da je teška voda vrlo čista, bistra i da za sada nema opasnosti od pojave korozije na gorivnim elementima. Merenja aktivnosti teške vode u Laboratoriji NET na Ge gama spektrometru pokazuju da u vodi nema aktiviranih nečistoća.

Rezultati merenja izvršeni u Mađarskoj za dva uzorka pokazuju da je za uzorak od 4.09.1998. godine težinska frakcija teške vode iznosila 96.85% D_2O a za uzorak od 5.06.2000. godine 97.59%.

II.1.3. Reaktorski sud

Prilikom svake zamene jezgra i potpornih ploča u sudu reaktora, a posebno pri godišnjem remontu celokupne opreme postrojenja, vršena je vizuelna kontrola reaktorskog suda. Pregledana su mesta ulaza cevi za dovod i odvod teške vode (na dnu suda u centru) i otvor za horizontalni eksperimentalni kanal. Donje i gornje potporne ploče su u dobrom stanju. Od izgradnje reaktorskog suda do danas, nisu zapažena nikakva oštećenja na unutrašnjosti suda niti su primećeni bilo kakvi talozi koji bi mogli biti posledica nečistoća u teškoj vodi.

II.1.4. Noseća konstrukcija i eksperimentalne platforme

Vizuelnom kontrolom utvrđeno je da na nosećoj konstrukciji reaktora, bočnim platformama i eksperimentalnoj platformi nema znakova koji ukazuju na zamor materijala, koroziju ili njeno oštećenje.

U zaključcima 'Elaborata o određivanju nosivosti noseće konstrukcije suda reaktora RB za potrebe rada reaktora sa sistemom HERBE' je utvrđeno:

- da je statičko naprezanje noseće konstrukcije unutar granica koje su dozvoljene za materijal (aluminijum najboljih konstruktivnih karakteristika, koji je izabran za proračun u nedostatku potrebnih informacija o stvarnom kvalitetu materijala konstrukcije);
- da je dinamičko naprezanje konstrukcije u najgorem slučaju (sa teškom vodom u reaktorskom sudu), za zemljotrese čije je ubrzanje 0.1 g (prema proceni stručnjaka Seizmološkog zavoda Republike Srbije mogu se javiti jednom u radnom veku reaktora na lokaciji reaktora) na granici maksimalno dozvoljenog opterećenja;
- da se prema proceni stručnjaka Seizmičkog zavoda Republike Srbije zemljotresi sa maksimalnim ubrzanjem od 0.15 g mogu da se na lokaciji reaktora RB jave najviše jednom u periodu od 100 do 150 godina;
- da prema proračunu izvršenom za zemljotrese sa ubrzanjem od 0.3 g konstrukcija reaktora neće biti oštećena ako je u njoj samo nuklearno gorivo, dok u slučaju da je teška voda u reaktorskom sudu najverovatnije je da će doći do rušenja jer su premašene maksimalne dozvoljene granice naprezanja materijala nosača reaktorske konstrukcije.

Razmatranja u okviru 'Finalnog sigurnosnog izveštaja reaktora RB sa sistemom HERBE' pokazuju da u slučaju rušenja konstrukcije reaktora u trenutku rada ne može da dođe do nuklearnog akcidenta već nastaje samo znatna materijalna šteta. Radijacione posledice (mala kontaminacija) u tom slučaju bi bile malo verovatne, i ograničene samo na zgradu reaktora odnosno njenu neposrednu okolinu.

Imajući u vidu navedene proračune i izvršene analize posledica rušenja konstrukcije reaktora u slučaju zemljotresa sa ubrzanjem od 0.3 g, Komitet za sigurnost Instituta u Vinči je, na svojoj sednici od 14.12.1989. godine, zaključio da nalazi iz Elaborata u pogledu dinamičkih naprezanja na reaktoru RB ne menjaju ništa u odnosu na prethodno (tridesetogodišnje) stanje. Ipak, Laboratorija NET će nastojati da pribavi materijalna sredstva kojima će se izvršiti intervencije na konstrukciji reaktora tako da ona može da izdrži naprezanja i u slučaju malo verovatnih zemljotresa sa ubrzanjem od 0.3 g.

Za vreme nekoliko zamljotresa koji su se poslednjih godina osetili u Beogradu, reaktor

RB nije bio u radnom režimu. Konstrukcija samog reaktora, svi vitalni elementi i konstrukcija same zgrade reaktora su ostali neoštećeni.

II.1.5. Cirkulacioni sistem teške vode

Cirkulacioni sistem teške vode čine reaktorski sabirni rezervoar za tešku vodu, cevovodi, pumpa, elektromagnetni i pneumatski ventili i kompresor. Na rezervoaru nisu primećene nikakve izmene u odnosu na prvobitno stanje od kada je izrađen (1958. godine). Nema nikakvih tragova taloga i korozije na njegovim unutrašnjim zidovima.

Od puštanja reaktora u rad do danas, nije ni na jednom mestu u cevovodu došlo do neželjenog isticanja vode. Na mestima gde su postavljeni ventili i pumpa, zaptivanje je potpuno ispravno. Ručnim ventilima se može, bez ikakvih smetnji, da reguliše ili zaustavi protok teške vode kroz cevovode. Trofazna rotaciona pumpa (Champump) snage 0.55 kW, obložena nerđajućom čelicom košuljicom u delu kroz koji protiče voda, funkcioniše dobro već punih 32 godine.

U teškoj vodi nema nikakvih tragova materijala koji bi mogao da potiče od ležajeva ove pumpe ili drugih mehaničkih komponenti, što je utvrđeno gama spektrometrijskom analizom teške vode na poluprovodničkom detektoru sa Ge.

Na cirkulacionom sistemu se na tri mesta vrši automatska kontrola isticanja teške vode: ispod prirubnice horizontalnog eksperimentalnog kanala na reaktorskom sudu, ispod vertikalno postavljene cevi za dovod i odvod vode iz reaktorskog suda i ispod vertikalnog dela cevi za odvod i dovod vode u rezervoar. Pregled ispravnosti funkcionisanja ovih detektora je redovno vršen u toku godine.

U cilju blagovremenog otkrivanja curenja moderatora pri radu reaktora sa spregnutim sistemima UNUK/SBTS i HERBE napravljena su dva detektora curenja moderatora (DCM) koja su nezavisno uključena u sigurnosni sistem reaktora. Testiranja su pokazala da oni rade ispravno (vrše se pre svakog uključivanja reaktora, po pravilu kada je nivo teške vode dostigao donji ograničavač).

U toku 1992. godine došlo je do kidanja gumenog umetka na pneumatskom ventilu za brzo punjenje teške vode. Kvar je otklonjen lepljenjem umetka lepkom marke Cianofix. Nakon ove opravke ventil je radio pravilno. U međuvremenu, nabavljeni su novi ventili domaće proizvodnje koji će biti ugrađeni kod sledećeg otkaza postojećih ventila (otkaz ventila ne može da ugrozi sigurnost reaktora RB, već samo da prekine njegov rad).

II.1.6. Apsorpcione šipke i nivomeri teške vode

S obzirom da se reaktor koristi na vrlo malim snagama "izgaranje" kadmijuma u sigurnosnim šipkama je zanemarljivo, tako da se vrši samo vizuelna kontrola ovih šipki, kao i podešavanje hoda i graničnih položaja. Ova kontrola se po pravilu vrši u sklopu godišnjeg remonta celokupne opreme, ili prilikom zamene rešetke. U 2000. godini nisu zapažena nikakva oštećenja, niti talozi na spoljašnjim aluminijumskim oblogama.

U toku 1990. godine izrađena je nova sigurnosna šipka SŠ3 kojom je zamenjena

kontrolna šipka za potrebe rada reaktora sa sistemom HERBE. Nova šipka ne može da se koristi za automatsku kontrolu snage reaktora.

Nisu zapaženi talozi niti oštećenja na dva fiksna nivomera (sonde) kojima se regulišu brzine punjenja teške vode i njena maksimalna visina u sudu.

II.2. ODRŽAVANJE ELEKTRONSKE OPREME REAKTORA

Održavanje i remont elektronske opreme reaktora su vršeni prema godišnjem planu ili na osnovu primedbi pogonskog osoblja i uočenih nedostataka pojedinih instrumenata u toku rada.

Krajem 1989. godine ugrađeni su u komandni pult tri nova gama dozimetrijska kanala i tri nova neutronska logaritamska merna kanala dobijena od SR Nemačke (sa brzog reaktora SNEAK koji je prestao da radi). Kanali rade potpuno ispravno.

II.2.1. Instrumentacija kontrolno-komandnog stola

Kontrolno-komandna instrumentacija je imala manje kvarove, najčešće na starim linearnim i logaritamskim pojačavačima snage kao posledica starenja pojedinih komponenti elektronskih kola, pre svega elektronskih cevi, elektrolita i relea.

Pri godišnjem remontu elektronske opreme izvršena je provera ispravnosti elektronskih cevi i sve cevi čije su karakteristike u radnom režimu bile ispod 60% od svojih nominalnih vrednosti su zamenjene novim. U toku redovnog godišnjeg remonta opreme pregledana su sva relea komandnog sistema reaktora. Izvršena je zamena dotrajalih, a kontakti na svim releima su ispolirani.

U nastavku su navedene samo neke od opravki na instrumentaciji kontrolno-komandnog stola:

- linearni kanali broj 5 i 6 su vezani u sigurnosni sistem reaktora i imaju sigurnosni prag postavljen na kraju svakog izabranog opsega, međutim, njihova eksploatacija je postala sve teža jer su počeli da se javljaju složeni kavarovi a rezervni linearni kanal za praćenje snage ne radi i ne može da se popravi (njegovi delovi se koriste za održavanje kanala br. 5 i br. 6).

Trenutno su oba kanala u radnom stanju. Na kanalu 5 su opravljeni kontakti na preklopniku za izbor opsega snage. I na pisačima vezanim za ove kanale je bilo više kvarova, koji su uspešno otklanjani. Na osnovu pokazivanju 'finog' pisača vrši se praćenje i održavanje snage reaktora RB ručnim komandama. Stanje kablova na kanalima broj 5 i 6 je loše zbog dotrajalosti;

- logaritamski kanali br. 3 i 4 su vezani u sigurnosni sistem reaktora, tako što se pragovi za snagu nalaze na kraju logaritamske skale svakog kanala.

Na ovim kanalima je, takođe, bilo više kvarova, koje je trebalo otklanjati. Za ove kanale ne postoje rezervni delovi. Logaritamski kanal broj 4 se nalazi na granici ispravne kalibracije zbog nedostatka elektronskih cevi 12E1 (ne postoji mogućnost da se ove cevi nabave na domaćem tržištu). Stanje kablova na kanalima broj 3 i 4 je loše zbog dotrajalosti. Pisaci za

praćenje snage vezani za ove kanala su u radnom stanju, i pored učestalih kvarova;

- kanali F1 i F2 su uključeni u sigurnosni sistem reaktora RB sa postavljenim pragovima za snagu i periodu.

Trenutno se ovi kanali nalaze na ivici ispravnosti. Za ove kanale ne postoje rezervni delovi. Pisači ovih kanala rade ispravno.

- kanali N1, N2 i N3 su dobijeni od SR Nemačke sa reaktora SNEAK i prepravljani su u Laboratoriji NET za rad sa neutronskim kompenzovanim jonizacionim komorama dobijenim sa reaktora RA.

Ovi kanali rade ispravno i pouzdano. Postoje rezervni moduli.

II.2.2. Instrumentacija dozimetrijskog pulta

Dozimetrijski kanali JP1, JP2 i JP3 za merenje brzine doze gama zračenja su radili ispravno. Međutim, komparatori preko kojih su ovi kanali uključeni u sistem svetlosne i zvučne signalizacije na reaktoru RB su se često kvarili tokom 2000. godine. Na kanalu JP1 (pokazuje dozu gama zračenja u hodniku zgrade reaktora RB) su zamenjeni: tranzistor OC45, elektronska cev ECC88 i jedan rele. Uopšte, održavanje ovih kanala je sve teže.

Neutronski dozimetrijski kanal ND1 je radio ispravno. Kalibrisan je tako da pokazuje neutronsku dozu u hali reaktora RB. Kanali ND2 (komandna soba) i ND3 (rezervni) su neispravni već duži niz godina i ne mogu se popraviti.

Impulsni gama kanali sa GM brojačima kao i pisači za kontinualno beleženje njihovih pokazivanja su odavno van upotrebe.

Dozimetrijski kanali G1, G2 i G3 za merenje brzine doze gama zračenja (dobijeni od SR Nemačke sa reaktora SNEAK) su radili ispravno. Komore ovih kanala su postavljene na istim mestima kao i za 'stare' kanale pomoću kojih se prati brzina apsorbovane doze gama zračenja (kanali JP1, JP2 i JP3).

II.2.3. Instrumentacija kanala za puštanje reaktora u rad

Impulsni start-up kanali A i B su radili ispravno, s tim što su izvori napajanja visokim naponom za ove kanale zamenjeni (kanal A je uključen u interlock sistem reaktora tako što onemogućava podizanje sigurnosne šipke SŠ1, ukoliko je brzina brojanja na skaleru kanala ispod 50 imp/s).

II.2.4. Merna instrumentacija i računarska oprema

U toku 1988. godine je za potrebe izvođenja eksperimenata u okviru realizacije drugih naučno-istraživačkih projekta na reaktoru RB nabavljena eksperimentalna oprema za:

- neutronsku spektrometriju sa proporcionalnim, scintilacionim i poluprovodničkim detektorima i aktivacionim folijama;
- gama spektrometriju sa poluprovodničkim i scintilacionim detektorima;
- merenje beta aktivnosti sa GM brojačem i protocnim detektorom sa gasom P-10;

- alfa i beta spektrometriju poluprovodničkim detektorom;
- kinetička merenja;
- višekanalni analizator za ADC i MCS merenja, na kome može da radi istovremeno više korisnika; i
- računarski sistem VAX-8250 i računari PC-486/66MHz i PS-2/12MHz.

Tokom 1989. i 1990. godine računari VAX-8250 i PS-2/12MHz su povezani sa reaktorskom i eksperimentalnom opremom radi akvizicije i obrade podataka.

Na višekanalnom analizatoru Canberra S-90 je otkazala jedinica memorije, a opravka još nije obavljena zbog nedostatka odgovarajućih čipova.

II.3. ODRŽAVANJE MAŠINSKE I ELEKTRO OPREME

Radovi na održavanju mašinske i elektro opreme su obavljeni prema planu održavanja i remonta.

II.3.1. Uređaji za napajanje električnom energijom

Uređaji za napajanje električnom energijom su u upotrebi više od dvadeset pet godina. Zahvaljujući redovnom održavanju još uvek su ispravni.

Transformatorska stanica podleže stalnoj kontroli i redovnom godišnjem remontu. Obavezno se vrši pregled transformatora i kontrola ulja. Jednom godišnje se vrši dolivanje ulja, a jednom u nekoliko godina se vrši ispitivanje ulja, tj. atestiranje na probojnost. Analiza ulja pokazuje da je ulje kvalitetno i da izdržava napon na probojnost od 100 kV. Atestiranje se radi u Institutu "Nikola Tesla" u Beogradu. Kod razvodnog postrojenja obavezno je čišćenje komponenti svaka tri meseca. Redovno se vrši zamena dotrajalih elemenata i kontrola instrumenata ovog postrojenja.

Stabilizator napona od 220 V, koji se koristi za napajanje merne instrumentacije i ispravljač za jednosmerni napon od 24 V (prenesen sa reaktora SNEAK) koji se koristi se u eksperimentima za obezbeđenje jednosmerne napona su radili ispravno.

Aktuelnost pitanja AKU baterije potiče iz dva razloga. Prvo, trenutno nije upotrebljiva. Drugo, nalazi se u podrumskoj prostoriji, koja kod svake jače kiše biva poplavljena, što zahteva povećane napore da se obezbedi održavanje ove prostorije i AKU baterije. Prema ranijim potrebama reaktora RB, AKU baterija je korišćena za snabdevanje komandne sobe jednosmernim naponom od 24 V, kojim se vrši napajanje logičkog dela dozimetričkog sistema i sirene u slučaju udesa. Trenutno se, umesto AKU baterije koriste ispravljači doneti sa nemačkog reaktora SNEAK. U slučaju nestanka električnog napajanja u trenutku kada reaktor RB radi, automatski padaju sve šipke i reaktor RB postaje podkritičan (približno -8000 pcm). Ugašenom reaktoru sirena nije potrebna. Nužno osvetljenje takođe nije neophodno jer se eksperimenti izvode u toku radnog vremena. S obzirom da se reaktor RB koristi za eksperimentalna istraživanja u reaktorskoj fizici, ne postoji potreba da reaktor RB radi u uslovima kada nema električnog napajanja tako da AKU baterija nije neophodna za rad reaktora RB, te je u dogovoru Laboratorije za termotehniku i energetiku i Laboratorije za nuklearnu energetiku i tehničku

fiziku treba prodati.

Na električnoj instalaciji za osvetljenje su se dešavali samo sitniji kvarovi.

II.3.2. Mehanizmi apsorpcionih šipki

Pregled i podmazivanje mehanizama za dizanje i spuštanje apsorpcionih šipki se vrši jednom godišnje za vreme godišnjeg remonta. Za potrebe sistema HERBE kontrolana šipka se koristi kao sigurnosna šipka SŠ3.

II.3.3. Nivomeri

Redovno se vrši usaglašavanje pokazivanja pratećeg nivomera sa rezultatima dobijenim pomoću gornjeg ograničavača nivoa teške vode u reaktorskom sudu.

II.3.4. Eksperimentalni kanali

Svi eksperimentalni kanali reaktora, više vertikalnih i jedan horizontalni kanal su ispravni.

II.3.5. Pneumatska puška za neutronske izvor

Pneumatska puška za podizanje i spuštanje neutronske izvora radi ispravno. Redovno se kontroliše ispravnost ventila za komprimovani vazduh.

II.3.6. Svetlosna i zvučna signalizacija

Svetlosna i zvučna signalizacija na reaktoru RB je ispravna. Redovno se vrši njena kontrola, a posebno kontrola svetlosne signalizacije vezane za zadate pragove brzina doza gama zračenja.

II.3.7. Kran

Detaljna kontrola ispravnosti kрана se obavlja u toku godišnjeg remonta celokupne opreme postrojenja. Posebna pažnja se posvećuje mehaničkim i električnim kočnicama.

Atestiranje kрана u hali reaktora RB je poslednji put obavljeno 7.3.1994. godine. Atest je dobijen od "D.D. Zaštita na radu, zaštita od požara i zaštita čovekove sredine", BEOGRAD, Deskaševa br. 7. U atestu stoji da kran "ispunjava propisane mere i normative zaštite na radu". U kontaktu sa ovlašćenim licima za obavljanje atesta kрана, obavešteni smo da ista ustanova ima službu za održavanje kрана i dizalica. Postoji potreba da se održavanje kрана u hali reaktora RB poveri ovoj ili nekoj drugoj ovlašćenoj ustanovi.

II.4. KONTROLA I ODRŽAVANJE POMOĆNIH SISTEMA I INSTALACIJE

II.4.1. Ventilacija i grejanje

Ventilacioni sistem i grejanje u pogonskim prostorijama su funkcionisali dobro. Na ventilacionom sistemu pregledana su sva četiri elektromotora: dva u hali reaktora i dva u klima komori. U toku godine je izvršeno čišćenje radijatora ispuštanjem vode na predviđenim ventilima.

Redovno je kontrolisan ventilacioni sistem hale reaktora RB, klima uređaj računarskog sistema VAX-8250 i tri klima uređaja u komandnoj, mernoj i eksperimentalnoj sobi.

II.4.2. Instalacija gasa i komprimovanog vazduha

U laboratorijama i radioničkim prostorijama zgrade reaktora RB postoji dovod komprimovanog vazduha (pritiska do 6 bara) i butan - propan gasa preko instalacije koja je izvedena u suterenskom hodniku zgrade. Poslednjih godina ove instalacije se ne koriste. Instalacija komprimovanog vazduha nije korišćena kako zbog velikih gubitaka centralnog kompresora, tako i zbog zaprljanosti vazduha vodom. Za potrebe rada cirkulacionog sistema teške vode i pneumatske puške za neutronske izvor, komprimovani vazduh je obezbeđen preko lokalnog prenosnog kompresora koji je priključen paralelno na postojeću instalaciju za dovod komprimovanog vazduha. Ovaj kompresor je smešten u hali reaktora RB i u 2000. godini je radio ispravno.

II.4.3. Oprema za protivpožarnu zaštitu

U zgradi reaktora postoji veći broj ručnih aparata za gašenje požara sa gasom CO₂. U hali reaktora RB se nalaze dva veća protivpožarna aparata od 10 kg CO₂ i jedan manji od 6 kg CO₂. Ispravnost ovih aparata kontroliše služba za protivpožarnu zaštitu Instituta, kao i služba fizičke zaštite Instituta.

II.4.4. Instalacije telefona i interfona

Telefonska instalacija je funkcionisala ispravno. Interfonska instalacija je dotrajala i ne koristiti se više. Umesto interfona u komandnoj sobi reaktora, u hali i mernoj sobi je postavljena telefonska garnitura koja omogućuje istovremenu vezu između ovih prostorija.

II.4.5. Vodovod i kanalizacija

Snabdevanje vodom je obezbeđeno preko vodovodne mreže Instituta u Vinči koja je vezana sa vodovodnom mrežom Vinčanskog vodovoda. Voda se dovodi do šahta koji se nalazi neposredno ispred zgrade reaktora, a zatim se odgovarajućim cevima duž suterenskih kanala dovodi do laboratorijskih i pomoćnih prostorija. Od pogonskih prostorija, dovod vode postoji samo u hali reaktora i eksperimentalnoj sobi. Svaka prostorija ima svoj ventil za otvaranje i zatvaranje dovoda vode.

Nisu predviđene nikakve rezerve vode, niti pomoćni sistemi u zgradi reaktora RB za

slučaj nestanka vode iz centralnog vodovoda. U zgradi reaktora postoji samo standardna kanalizacija, jer nije predviđen rad sa visoko aktivnim materijalima.

II.5. ODRŽAVANJE RADNIH PROSTORIJA

Polse ove opravke lima na krovu hale reaktora RB (tokom 1996. godine) nije više bilo prokišnjavanja hale reaktora.

II.6. REFERENCE

1. M.Pešić, P.Marinković, M.Milošević, N.Zavaljevski, D.Popović, D.Stefanović, S.Avdić, D.Antić, N.Hadžimahmutović, R.Simović, N.Marinković, B.Bojović, M.Josipović, M.Arsenović
Finalni sigurnosni izveštaj sistema HERBE, IBK-NET-54, Institut za nuklearne nauke, Vinča, Mart 1991.
2. Lj. Savic
Određivanje nosivosti noseće konstrukcije suda reaktora RB za potrebe formiranja hibridnog sistema HERBE, IRC Građevinski fakultet - Beograd, oktobar (1989).

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu u 2000. godini

III Deo
KORIŠĆENJE REAKTORA RB

III. KORIŠĆENJE REAKTORA RB U 2000. GODINI

Konkretni rezultati dobijeni u istraživanjima namenjeni za praktičnu primenu:

Rezultat 1:

Konfiguracije reaktora RB kao eksperimentalni benchmark sistemi za tešk vodne reaktore

Klasa: Eksperimentalni sistemi

Opis i namena: Dokumentovani eksperimentalni sistemi namenjeni za testiranje programa za proračune tešk vodnih reaktora u tro-dimenzionalnoj geometriji. Eksperimentalne konfiguracije su izabrane i analizirane korišćenjem referentnih inostranih programskih paketa programa (MCNP-4B i SCALE-4.3) i domaće biblioteke nuklearnih podataka (VMCCS) i domaćeg programa (VEGA2).

Prateći podaci: Eksperimenti su opisani i dokumentovani u sledećoj referenci:

- 1.1. M.P.Pešić
RB Reactor: Lattices of 80%-Enriched Uranium Elements in Heavy Water, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(95)03/II, Vol. II, contribution HEU-COMP-THERM-017, OECD/NEA, Nuclear Science Committee, Paris, France (September 2000).

Korišćenje:

- (1) za verifikaciju računarskih programa razvijenih za potrebe analiza sigurnosti nuklearnih postrojenja.

Potencijalni korisnici:

- (1) Sve institucije u zemlji i svetu koje se bave analizama sigurnosti nuklearnih postrojenja.

Rezultat 2:

Specifikacija polja brzih neutrona u sistemu HERBE

Klasa: Eksperimentalni uređaj na reaktoru RB

Opis i namena: Konfiguracija reaktora RB za ozračivanje uzoraka za potrebe dozimetrije i bioloških istraživanja. Projektovana je korišćenjem domaćeg programa VEGA, a najnovija detaljna specifikacija polja neutrona je izvršena pomoću referentnog inostranog programa MCNP-4B.

Prateći podaci: Uređaj opisan i dokumentovan u sledećoj referenci:

- 2.1. M.Pešić, V.Ljubenov
Validation of the MCNP Code in Fast Neutron Spectrum in the Coupled Fast-Thermal System HERBE, 3RD International Yugoslav Nuclear Society Conference (YUNSC-2000) Belgrade, Yugoslavia, October 2-5, 2000, Book of Abstracts p. B.10.

Korišćenje:

- (1) za kalibraciju integralnih dozimetara domaće proizvodnje,
- (2) biološka istraživanja (ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK)
- (3) verifikaciju domaćih računarskih programa razvijenih za potrebe sigurnosti nuklearnih postrojenja.
- (4) testiranje novih i referentnih računarskih programa za nuklearnu sigurnost i zaštitu u okviru zajedničkog Projekta University of Bologna, DIENCA, Bolonja, Italija i Instituta za nuklearne nauke "Vinča"

Potencijalni korisnici:

- (1) Vojska Jugoslavije - Tehnički opitni centar
- (2) Vojska Jugoslavije - Vojno-tehnički institut
- (3) "Rudi Čajevac", Republika Srpska
- (4) Institut za medicinu rada i radiolosku zastitu 'Dr Dragomir Karajović'
- (5) Savezni zavod za mere i dragocene metale - metrologija jonizujućeg (neutronske i gama) zračenja
- (6) Institut za biološka istraživanja 'Siniša Stanković'
- (7) Institut za bezbednost - Beograd
- (8) Tehnički i Prirodno-matematički fakulteti u SRJ
- (9) Energoprojekt
- (10) Institut za nuklearne nauke "Vinča"
 - Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku,
 - Laboratorija za termotehniku i energetiku,
 - Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju,
 - Laboratorija za fizičku hemiju,
 - Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine,
 - Laboratorija za materijale,
 - Centar za multidisciplinarna istraživanja i inženjering (reaktor RA).

Rezultat 3:

Standardizacija neutronskih polja u grafitnom bloku sa Ra- α -Be izvorom

Klasa: Eksperimentalni uređaj na reaktoru RB

Opis i namena: Eksperimentalni uređaj za ozračivanje folija i uzoraka u radnim standardizovanim neutronskim poljima. Standardizacija je izvršena merenjem dvo-grupne raspodele gustine neutronskog fluksa i određivanjem detaljne prostorno-energetske raspodele gustine neutronskog fluksa pomoću referentnog inostranog programa MCNP-4B.

Prateći podaci: Uređaj opisan i dokumentovan u sledećim referencama:

- 3.1. V.Ljubenov, M.Milošević, M.Pešić
Determining the Neutron Flux in a Graphite Block with Ra- α -Be Source, *Transaction of ANS*, Vol. **83**, No.1, pp.431-432, Washington DC, USA (November 12-16, 2000)
- 3.2. V.Ljubenov, M.Milošević
Calculation and Measurement of Neutron Flux in Graphite Block with Ra- α -Be Source, 3RD International Yugoslav Nuclear Society Conference (YUNSC-2000) Belgrade, Yugoslavia, October 2-5, 2000, Book of Abstracts p. B.12.

Korišćenje:

- (1) za kalibraciju aktivnosti uzoraka i folija.

Potencijalni korisnici:

- (1) Savezni zavod za mere i dragocene metale - metrologija jonizujućeg (neutronskog i gama) zračenja
- (2) Tehnički i Prirodno-matematički fakulteti u SRJ
- (3) Institut za nuklearne nauke "Vinča"
 - Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku,
 - Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine,
 - Centar za multidisciplinarna istraživanja i inženjering (reaktor RA).

Rezultat 4:

Specifikacija polja brzih neutrona u sistemu spoljašnji neutronski konvertor □ reaktor RB

Klasa: Eksperimentalni uređaj na reaktoru RB

Opis i namena: Uređaj na reaktoru RB za ozračivanje uzoraka za potrebe dozimetrije i bioloških istraživanja. Najnovija detaljna specifikacija polja neutrona je izvršena pomoću domaćeg programa VEGA2DAN i inostranog paketa programa SCALE-4.3.

Prateći podaci: Uređaj opisan i dokumentovan u sledećim referencama:

- 4.1. N. Dasic , M.Milosevic
Monte Carlo Simulation of Neutron Flux Outside the Active Core, *Transaction of ANS*, Vol. **83** (1),, pp.428-430, 2000.
- 4.2. N.Dašić, M.Milošević
Calculation of Neutron Flux Outside the Reactor Core by Monte Carlo Simulation, 3RD International Yugoslav Nuclear Society Conference (YUNSC-2000) Belgrade, Yugoslavia, October 2-5, 2000, Book of Abstracts p. A2.6.

Korišćenje:

- (1) za kalibraciju integralnih dozimetara domaće proizvodnje,
- (2) biološka istraživanja (ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK)
- (3) verifikaciju domaćih računarskih programa razvijenih za potrebe sigurnosti nuklearnih postrojenja.
- (4) testiranje novih i referentnih računarskih programa za nuklearnu sigurnost i zaštitu u okviru zajedničkog Projekta University of Bologna, DIENCA, Bolonja, Italija i Instituta za nuklearne nauke "Vinča"

Potencijalni korisnici:

- (1) Vojska Jugoslavije - Tehnički opitni centar
- (2) Vojska Jugoslavije - Vojno-tehnički institut
- (3) "Rudi Čajevac", Republika Srpska
- (4) Institut za medicinu rada i radiolosku zastitu 'Dr Dragomir Karajović'
- (5) Savezni zavod za mere i dragocene metale - metrologija jonizujućeg (neutronske i gama) zračenja
- (6) Institut za biološka istraživanja 'Siniša Stanković'
- (7) Institut za bezbednost - Beograd
- (8) Tehnički i Prirodno-matematički fakulteti u SRJ
- (9) Energoprojekt
- (10) Institut za nuklearne nauke "Vinča"
 - Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku,
 - Laboratorija za termotehniku i energetiku,
 - Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju,
 - Laboratorija za fizičku hemiju,
 - Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine,
 - Laboratorija za materijale,
 - Centar za multidisciplinarna istraživanja i inženjering (reaktor RA).

Rezultat 5:

Neutronske filtere sa borom za ozračivanje uzoraka brzim neutronima

Klasa: Eksperimentalni uređaj na reaktoru RB

Opis i namena: Eksperimentalni uređaj korisne zapremine 85 cm³ za ozračivanje uzoraka za potrebe dozimetrije i bioloških istraživanja. Projektovana je korišćenjem domaćeg programa VEGA2DAN i referentnog inostranog programskog paketa SCALE-4.3.

Prateći podaci: Uređaj opisan i dokumentovan u sledećoj referenci:

- 5.1. M.Milošević, M.Pešić, I.Plećaš, D.Nikolić, D.Antić, N.Dašić
Modelling of Fast Neutron Spectra at the RB Critical Assembly for Applications in Dosimetry and Biology, *Bgns Transactions. (Science and Technology Journal of the Bulgarian Nuclear Society)*, **5**(1), 44 (2000).

Korišćenje:

- (1) za kalibraciju integralnih dozimetara domaće proizvodnje,
- (2) biološka istraživanja (ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK)
- (3) verifikaciju domaćih računarskih programa razvijenih za potrebe sigurnosti nuklearnih postrojenja.
- (4) testiranje novih i referentnih računarskih programa za nuklearnu sigurnost i zaštitu u okviru zajedničkog Projekta University of Bologna, DIENCA, Bolonja, Italija i Instituta za nuklearnu nauku "Vinča"

Potencijalni korisnici:

- (1) Vojska Jugoslavije - Tehnički opitni centar
- (2) Vojska Jugoslavije - Vojno-tehnički institut
- (3) "Rudi Čajevac", Republika Srpska
- (4) Institut za medicinu rada i radiolosku zastitu 'Dr Dragomir Karajović'
- (5) Savezni zavod za mere i dragocene metale - metrologija jonizujućeg (neutronske i gama) zračenja
- (6) Institut za biološka istraživanja 'Siniša Stanković'
- (7) Institut za bezbednost - Beograd
- (8) Tehnički i Prirodno-matematički fakulteti u SRJ
- (9) Energoprojekt
- (10) Institut za nuklearnu nauku "Vinča"
 - Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku,
 - Laboratorija za termotehniku i energetiku,
 - Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju,
 - Laboratorija za fizičku hemiju,
 - Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine,
 - Laboratorija za materijale,
 - Centar za multidisciplinarna istraživanja i inženjering (reaktor RA).