

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE 'VINČA'
Centar za nuklearne tehnologije i istraživanja-'NTI

Vinča - NTI – 154

M. Milošević, V. Ljubenov, M. Pešić
M. Jevremović, D. Minić, Dj. Šipka

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Izveštaj o radu u 2007. godini)

Vinča, januar 2008.

SADRŽAJ

Strana

I. DEO

TEHNIČKI OPIS, POGON I RAD REAKTORA

I.1.	UVOD	5
I.2.	REAKTOR RB	7
I.2.1.	Kratak opis reaktora	7
I.2.2.	Eksploatacione mogućnosti reaktora	9
I.2.3.	Perspektive korišćenja reaktora	10
I.2.4.	Dosadašnje korišćenje reaktora	11
I.2.5.	Akcidenti i incidenti	11
I.3.	OPREMA POSTROJENJA	11
I.3.1.	Nuklearno gorivo	12
I.3.2.	Teška voda	12
I.3.3.	Reaktorski sud	12
I.3.4.	Cirkulacioni sistem teške vode	13
I.3.5.	Elektronska oprema	13
I.3.6.	Mašinska i elektro oprema	13
I.3.7.	Pomoćni sistemi i oprema	14
I.3.8.	Eksperimentalna i računarska oprema na reaktoru RB	14
I.4.	DOZIMetriJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA	14
I.4.1.	Nivoi gama i neutronskog zračenja	14
I.4.2.	Kontaminacija radne sredine, predmeta i ljudstva	14
I.4.3.	Ozračivanje osoblja	15
I.5.	OSOBLJE POGONA REAKTORA	16
I.6.	ELEMENTI FINANSIJSKOG IZVEŠTAJA ZA 2007. GODINU	17
I.7.	ZAKLJUČCI	17

II. DEO

OPREMA POSTROJENJA I NJENO ODRŽAVANJE

II.1.	KONTROLA I ODRŽAVANJE OSNOVNIH KOMPONENTI REAKTORA	20
II.1.1.	Nuklearno gorivo	20
II.1.2.	Teška voda	20
II.1.3.	Reaktorski sud	21
II.1.4.	Noseća konstrukcija i eksperimentalne platforme	21
II.1.5.	Cirkulacioni sistem teške vode	22
II.1.6.	Apsorpcione šipke i nivomeri teške vode	22
II.2.	ODRŽAVANJE ELEKTRONSKE OPREME REAKTORA	22
II.2.1.	Instrumentacija kontrolno-komandnog pulta	23
II.2.2.	Instrumentacija dozimetrijskog pulta	23
II.2.3.	Instrumentacija kanala za puštanje reaktora u rad	24
II.2.4.	Merna instrumentacija i računarska oprema	24
II.3.	ODRŽAVANJE MAŠINSKE I ELEKTRO OPREME	24
II.3.1.	Uredjaj za napajanje električnom energijom	24
II.3.2.	Mehanizmi apsorpcionih šipki	24
II.3.3.	Nivomeri	24
II.3.4.	Eksperimentalni kanali	25
II.3.5.	Pneumatska puška za neutronske izvor	25
II.3.6.	Svetlosna i zvučna signalizacija	25
II.3.7.	Kran	25
II.4.	KONTROLA I ODRŽAVANJE POMOĆNIH SISTEMA I INSTALCIJE	25
II.4.1.	Ventilacija i grejanje	25
II.4.2.	Instalacija gasa i komprimovanog vazduha	25
II.4.3.	Oprema za protivpožarnu zaštitu	26
II.4.4.	Instalacije telefona i interfona	26
II.4.5.	Vodovod i kanalizacija	26
II.5.	ODRŽAVANJE RADNIH PROSTORIJA	26

III. DEO

KORIŠĆENJE REAKTORA RB

III.1 KORISĆENJE REAKTORA RB U TOKU 2007. GODINE

28

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu u periodu januar - decembar 2007. godine

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 obezbedjenje sigurnog rada reaktora.

Reaktor RB je poslednjih godina (od 1991. do decembra 2007. godine) korišćen u oblastima: fizike, kinetike i sigurnosti nuklearnih reaktora (najčešće za eksperimentalnu verifikaciju računarskih programa koji se koriste za analizu prelaznih režima i udesnih stanja na nuklearnim postrojenjima); kao i u oblastima dozimetrije i zaštite od zračenja.

U periodu raspolaganja (do 2002. godine) visikoobogaćenim uranijumom (80% ^{235}U) u obliku UO_2 , 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 neutronskeg filtra sa borom (jezgro RB#104) je pokazala da reaktor RB može da se uspešno koristi i kao izvor neutrona različitih energetske spektara. Nova jezgra RB#111 (za ozračivanja u unutrašnjosti neutronskeg filtra sa borom, umesto prethodnih jezgara RB#104 i RB#106) i RB#114 (za ozračivanje uzoraka velikih dimenzija, umesto jezgara RB#107 i RB#110) su formirana korišćenjem postojećih gorivnih elemenata niskog obogaćenja (2% ^{235}U) u obliku metalnog uranijuma i sa gorivnim elementima sa metalnim uranijumom prirodnog obogaćenja. Pokazano je da nova jezgra mogu da se koriste i za stvaranje kratkoživećih radioaktivnih nuklida niske aktivnosti, kao što su ^{38}Cl , ^{56}Mn , ^{198}Au i ^{24}Na koji imaju važnu ulogu u kalibraciji poluprovodničkih detektora sa germanijumom ili za formiranje radinuklida ^{187}W i ^{188}Re koji su korišćeni za proveru mogućnosti razdvajanja ^{187}W i ^{188}Re na koloni razvijenoj u Laboratoriji za radioizotope (Lab-070) U institutu u Vinči. Takođe je, korišćenjem reaktora RB za ispitivanje uticaja brzih neutrona na DNK, potvrđena mogućnost njegove primene u biološkim istraživanjima. Najnoviji ekpserimenti iz oblasti aktivacione analize su potvrdili mogućnosti reaktora RB za određivanje primesa (kao sto su živa, mangan, europijum i drugi nuklidi) u različitim materijalima.

Kao i ranijih godina, i u 2007. godini posebna pažnja je bila posvećena obezbedjenju sigurnosti rada reaktora i povećanju njegovih eksploatacionih mogućnosti.

Aktivnosti vezane za pogon, održavanje i ekspoloataciju nuklearnog reaktora RB u 2007. godini su obuhvatile:

- formiranje jedne nove kofiguracije (jezgro RB#118) sa korakom rešetke od 12 cm;
- 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 pripreme i izvođenje eksperimenata.

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 u skladu sa postojećim propisima.

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 naponi da se sistemi kao celine sukcesivno zamenjuju novim.

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

Stalno osoblje pogona reaktora RB, u toku 2007. godine (učesnici na Projektu "Istraživački nuklearni reaktor RB") sačinjavaju: šef pogona reaktora, fizičar u pogonu reaktora, operator, pomoćnik operatora i elektromehaničar, kao i dozimetrista pogona. Poslove elektromehaničara, su obavljali, po potrebi, saradnici Centra za nuklearne tehnologije i istraživanja (NTI) ili saradnici drugih Laboratorija iz Instituta.

U 2007. godini su ispitivani i proveravani svi merni kanali za praćenje rada reaktora. Posebna pažnja je posvećena ispitavanju ispravnosti rada ventila cirkulacionog sistema teške vode.

Reaktor RB ima specifičnu ulogu u Srbiji 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 neutronskega zračenja definisanih energetskih spektara i gama zračenja, čine ovaj reaktor pogodnim za eksploataciju u najraznovrsnije svrhe.

I.2. REAKTOR RB

I.2.1. Kratak opis reaktora

Reaktor RB je u osnovi kritični sistem sa teškom vodom predviđen za rad sa gorivom sa prirodnim i obogaćenim uranijumom. Reaktorski sud je izradjen 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. Bilo je planirano da se ovi kanali povežu 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 (brzinom od 2.5 cm/min), posle čega je moguće samo 'sporo' punjenje (brzinom od 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 teške vode 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 reaktorskog suda teškom vodom 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 podizanje sigurnosnih šipki, osim zatvaranja lanca sigurnosti, neophodno je da na start-up kanalu 'A' broj impulsa u jedinici vremena bude veći od 50 imp/s. Ovaj broj impulsa se obezbeđuje podizanjem neutronskog izvora tipa Ra- α -Be intenziteta 10^7 n/s u njegov gornji položaj (mesto neposredno ispod reaktorskog suda).

Temperatura teške vode se meri digitalnim termometrom u opsegu temperatura od 0°C do 60°C.

Kontrolni sistem

Komandni sto reaktora RB trenutno ima jedanaest neutronskih kanala:

- dva linearna impulsa 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 kompenzacionim komorama sa borom tipa CCPIN10 (osetljivosti 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 $-\infty$ do -30 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 komorom CC52, jednosmernim linearnim strujnim pojačavačem SACLISB1 i pripadajućim blokovima. Osetljivost kompenzovane jonizacione komore CC52 na neutrone je $0.031 \text{ pA/n/cm}^2/\text{s}$, dok je merni opseg strujnog pojačavača od 10 pA do 1 mA;
- jedan logaritamski strujni kanal F2 (MERLIN GERIN) sa kompenzovanom jonizacionom komorom tipa CC52, jednosmernim logaritamskim strujnim pojačavačem SPB1 i pripadajućim blokovima. Osetljivost ove komore i merni opseg pojačavača su isti kao i za neutronske kanal F1. Merenje periode reaktora se vrši u opsegu od $-\infty$ do 30 s i od 30 s do ∞ ; i
- tri neutronska logaritamska strujna kanala N1, N2 i N3 tipa TK 240 (HARTMANN & BRAUN) sa kompenzovanim jonizacionim komorama tipa RC 6EB (CENTRONICS). Ovi kanali imaju merni opseg od 1 pA do 0.01 mA. Osetljivost jonizacionih komora na neutrone iznosi $1.9 \times 10^{-14} \text{ A/n/cm}^2/\text{s}$. Merenje periode reaktora je u opsegu od $-\infty$ do -30 s i od ∞ do 10 s.

Dozimetrijski sistem

Na dozimetrijskom stolu postoje sledeći merni kanali:

- jedan impulsni kanal za merenje brzine neutronske doze u hali reaktora RBND (Vinča, Centar NTI);
- 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 (HARTMANN & 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 neutronske 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 pratećeg nivomera; i
- prekidanja punjenja reaktorskog suda teškom vodom.

Lanac sigurnosti deluje po 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 sigurnosnih sipki i pratećeg nivomera.

Kanali F1 i F2 su povezani u poseban sigurnosni lanac, blok SBF (Vinča, Centar NTI) koji je uključen u postojeći sigurnosni sistem reaktora u cilju postepene zamene starih mernih kanala.

I.2.2. Eksploatacione mogućnosti reaktora

Reaktor RB je teškodvodni kritični 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 2007. godine reaktor RB je imao oko 5700 kg teške vode (izotopske čistoće 96.4% mol D₂O, prema ekstrapolaciji rezultata merenja sastava teške vode od 29.09.2002. godine) i dve vrste nuklearnog goriva:

- 3550 kg metalnog prirodnog uranijuma u obliku 177 gorivnih šipki; i
- 273 kg metalnog uranijuma niskog obogaćenja (2% ²³⁵U) u obliku 708 cilindričnih gorivnih segmenata.

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 bile povećane realizacijom više uređaja za formiranje polja brzih neutrona, kao što su:

- a) uređaji u kojima je korišćeno visokoobogaćeno gorivo (80% ²³⁵U), i koji po odnošenju ovog goriva u zemlju proizvođača (Rusiju) više nisu u funkciji
 - spoljašnji konvertor neutrona SKON;
 - eksperimentalni kanal unutar gorivnog elementa VINET;
 - unutrašnji konvertor neutrona UNUK/SBTS;
 - spregnuti brzo-termički sistem HERBE; i
- b) raspoloživi uređaji u kojima se koristi postojeće gorivo
 - 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.

Eksploatacione 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 ¹⁸F, ³⁶Cl, ⁵⁶Mn, ²⁴N, ¹⁹⁸Au, ¹⁸⁷W i ¹⁸⁸Re 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 poredjenjem sa rezultatima merenja integralnih karakteristika odgovarajućih "benchmark konfiguracija" realizovanih na kritičnim sistemima nulte snage. U Institutu u Vinči (Centar NTI) se takodje 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. U planu su i eksperimenti od značaja za poslove radiološke karakterizacije reaktora RA.

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 stečenih teorijskih i eksperimentalnih iskustava i u eksperimentalnoj verifikaciji razvijenih računarskih programa; i
- što se reaktor RB u svakom trenutku može modernizovati.

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

Kontinualna izučavanjima procesa koji su vezani za prelazne režime u nuklearnim reaktorima, bez obzira što je njihova priroda objašnjena još na početku razvoja fizike nuklearnih reaktora, postoje zbog potreba za usavršavanjem postojećih biblioteka neutronske preseka i numeričkih metoda na osnovu kojih bi ovi procesi mogli da se opisuju 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 inostrane biblioteke kao što su ENDF/B-VII.0, ENDF/B-VI.8, JEFF3.1, JENDL3.3 i druge, i najnoviji računarski programi MCNP-4C, MCNP-5.0, SCALE-4.4a, SCALE-5.1 i drugi) postoje još mnoge oblasti koje tek treba da budu istražene (kao što su izučavanje rezonanci plutonijuma i drugih nuklida, merenje i evaluacija neutronske preseka za fisione produkte i drugo).

I.2.4. Dosadašnje korišćenje reaktora

Reaktor RB je poslednjih godina (od 1991. do 2007. godine) korišćen za eksperimentalnu verifikaciju računarskih programa iz oblasti fizike nuklearnih reaktora; za evaluacije dobro dokumentovanih konfiguracija ("benchmark" konfiguracija) od značaja za fiziku nuklearnih reaktora sa teškom vodom, kalibraciju neutronskih dozimetara, stvaranja standardnih izvora gama zračenja niske aktivnosti, ozračivanja različitih uzoraka, kao i obuku kadrova.

U periodu januar - decembar 2007. godine rešetka reaktora RB je zamenjena jednom (formirana je konfiguracija RB#118). I pored toga što je izvršena priprema nove konfiguracije RB#118 (uključujući potrebne analize nuklearne i radijacione sigurnosti kao i pripremu instrumentacije koja je radila oko 100h) u toku 2007. godine nije ostvareno dostizanje kritičnog nivoa na reaktoru RB. Dva su osnovna razloga što reaktor RB nije korišćen tokom 2007. godine:

- a) intenzivno angažovanje članova pogona reaktora RB na projektu VIND (videti prikaz rada članova pogona u III delu ovog Izveštaja o radu za period januar - decembar 2007. godine, III Deo, KORIŠĆENJE REAKTORA RB); i
- b) obimni i dugotrajni radovi na zameni dotrajale instalacije sa novom u sistemu grejanja hale reaktora RB, na zameni dotrajalog zida od staklenih prizmi sa prozorskim oknima i spoljašnjom rešetkom (čime je poboljšana fizička zaštita hale reaktora RB a istovremeno je omogućeno efikasnije provetravanje hale, odnosno izbacivanje radona čija je koncentracija oko 10 puta veća nego u radnim sobama u zgradi reaktora RB), i na popravci krova za halu reaktora RB (kako bi se otklonilo prokišnjavanje hale).

I.2.5. Akcidenti i incidenti

U periodu januar-decembar 2007. godine reaktor nije dostizao kritičan nivo. Nije bilo incidenata i akcidenata, niti je bilo neželjenih ozračivanja ili kontaminacije materijala, osoblja i okoline.

Zaostala radioaktivnost goriva je održavana na nivou ranijih godina. Teška voda je u odnosu na prethodnu proveru pretrpela degradaciju sa 96.7 % mol D₂O na 96.4 % mol D₂O.

I.3. **OPREMA POSTROJENJA**

U proteklom periodu za održavanje, instalaciju nove i remont celokupne instrumentacije reaktora je utrošeno oko 1100 časova, dok je za održavanje i remont ostale opreme postrojenja utrošeno još 1100 časova. Podaci o radu reaktora za proteklih 10 godina su prikazani tabelarno:

Godina	Rad osoblja na pripremi reaktora (h)	Broj zamena rešetki*	Rad reaktora (Wh)	Broj puštanja reaktora u rad
1997	1800	0	70	66
1998	1800	7	178	40
1999	1800	13	84	24
2000	1800	1	33	12
2001	1800	0	28	33
2002	1800	0	159	12

2003	1800	0	108	5
2004	1800	0	60	7
2005	1800	1	40	3
2006	1800	1	15	20
2007	1800	1	0	0

* Broj zamena rešetke poslednjih godina je smanjen zbog korišćenja konfiguracije sa velikom unutrašnom šupljinom.

U nastavku ovog dela Izveštaja prikazano je stanje opreme postrojenja u periodu januar – decembar 2007. godine.

I.3.1. Nuklearno gorivo

Zbog obaveza koje je Srbija prihvatila obnovljenim članstvom u Medjunarodnoj Agenciji za Atomska Energiju (MAAE), nuklearno gorivo visokog obogaćenja (UO_2 , obogaćenja 80% ^{235}U) je transportovano u Rusiju (zemlju gde je ovo gorivo proizvedeno).

Reaktor sada raspolaže sa dve vrste nuklearnog goriva - metalnim sa prirodnim uranijumom i metalnim sa uranijumom obogaćenja 2% ^{235}U . Gorivo sa prirodnim metalnim uranijumom je u obliku šipki. Čuva se u drvenoj stalaži. 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), dok je drugi gorivni element sa metalnim prirodnim uranijumom oštećen i stavljen je van upotrebe. Ostali elementi imaju košuljicu od aluminijuma debljine 1 mm. Tri ovakva gorivna elementa, zbog sitnih bubrenja košuljice su van upotrebe. Na jednom segmentu od 2% obogaćenog goriva su napravljeni otvori za eksperimentalne potrebe. Svi segmenti su u ispravnom stanju, s tim što deset gorivnih elemenata imaju iskrivljenu "zvezdicu", što ne utiče na mogućnost njihovog korišćenja.

U okviru kontrole nuklearnog goriva od strane inspektora Medjunarodne Agencije za Atomska Energiju, koja je vezana za primene garancija na osnovu ugovoru o neširenju nuklearnog oružja, reaktor RB je u potpunosti odgovorio medjunarodnim zakonskim obavezama zemlje u toku 2007. godine. Redovna godišnja inspekcija je izvršena 20. marta 2007. godine. Tromesečnih inspekcija nije bilo.

I.3.2. Teška voda

Teška vode je smeštena u posebnom rezervoaru. Sa raspoloživom količinom teške vode (oko 5700 kg) u reaktorskom sudu može da se dostigne visina od 165 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 je kontrolisan jednom godišnje u Laboratoriji za fizičku hemiju Instituta u Vinči. Teška voda je bistra, a poslednje merenje njenog bazno-kiselog karaktera pokazuje da pH faktor ima vrednost od 6.60 ± 0.05 . Poslednje merenje koje je izvršeno u Institutu KFKI u Madjarskoj, za uzorak od 27. 09. 2002. godine, pokazuje da je vrednost izotopskog sastva teške vode iznosi 97.15 % mol D_2O .

I.3.3. Reaktorski sud

Redovnim pregledima reaktorskog suda u 2007. godini nisu ustanovljena oštećenja zidova i dna, i na njima nema pojava taloga. Potporne ploče - držači gorivnih kanala, koje se stavljaju na dno i na vrhu suda, su takodje 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 čeličnom košuljicom u delu kroz koji protiče teška voda. Snaga pumpe je 0.55 kW. Trenutno svi postojeći ventili na sistemu (ručni, elektromagnetni i pneumatski) rade ispravno, i na sistemu teške vode nema curenja. Nabavljeni su novi ventili domaće proizvodnje. Njihova ugradnja će biti izvršena ukoliko dodje do otkaza ranije opravljenih ventila ili dodje do kvara nekog od 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 40 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 zamenio je stare gama dozimetrijske kanale i logaritamske neutronske kanale za praćenje snage reaktora.

Instrumentacija reaktora je, zbog pomenutih problema bila u radu znatno kraće, oko 80 h. Prikaz ovih podataka za period od 1997. do 2007. godine je dat tabelarno:
Prikaz rada instrumentacije reaktora RB

Godina	Instrumentacija		Ostala oprema
	Rad (h)	Održavanje (norma h)	Održavanje (norma h)
1997	850	2350	2150
1998	850	2350	2150
1999	850	2350	2150
2000	850	2350	2150
2001	850	2350	2150
2002	850	2350	2150
2003	850	2350	2150
2004	850	2350	2150
2005	850	2350	2150
2006	850	2350	2150
2007	250	1000	1000

I.3.6. Mašinska i elektro oprema

Ova oprema je u neprekidnom radu takodje preko 40 godina. I pored planskog i redovnog održavanja, zastarelost i "istrošenost" ove opreme prčinjavaju znatne teškoće u radu.

I.3.7. Pomoćni sistemi i oprema

Pomoćni sistemi i oprema, koje sačinjavaju instalacije ventilacije, grejanja, gasa, vodovoda, kanalizacije i komprimovanog vazduha, telefonska instalacija, 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 2007. 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;
- poluprovodnički germanijumski detektor GX5020 sa višekanalnim analizatorom;
- sistem za detekciju alfa i beta zračenja niskog intenziteta, Canberra 2400F;
- monitor alfa i beta aktivnosti u vazduhu iCAM;
- monitor beta aktivnosti u vazduhu AMS-4;
- FreeBSD klaster sa jedanaest (11) PC računara efektivne snage od 30 GHz (jedan na 2x0.733 GHz, jedan na 1.8 GHz, jedan na 2.4 GHz i osam na 3.0 GHz) formiran u Centru za nuklearne tehnologije i istraživanja u Institutu za nuklearne nauke u Vinči.

Trenutno, sva eksperimentalna i računarska oprema na reaktoru RB je u ispravnom stanju.

I.4. DOZIMETRIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA

I.4.1. Nivoi gama i neutronskega zračenja

Stalna kontrola jačina doza gama i neutronskega zračenja na reaktoru RB se vrši pomoću ugrađenog stacionarnog sistema. Takođe se redovno vrše merenja pomoću prenosnih instrumenata za detekciju neutronskega 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 jačina doza zračenja u dozimetrijskim tačkama u zgradi reaktora RB i njenoj bližoj okolini.

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

U periodu januar-decembar 2007. godine jačine doze gama i neutronskega zračenja u zgradi reaktora su dostizale uobičajene i dozvolje granice, što znači da osoblje pogona reaktora RB prima, pored prirodnog fona (ukupno oko 2.4 mSv godišnje) još oko 0.2 mSv godišnje usled održavanja i eksploatacije samog reaktora RB i drugih izvora zračenja u hali ovog reaktora. Podaci o izmerenim vrednostima jačina doza neutronskega i gama zračenja su unošeni u pogonsku dokumentaciju reaktora RB (Dozimetrijska knjiga i Obrzac RB-11).

I.4.2. Kontaminacija radne sredine, predmeta i ljudstva

Kontrola aktivnosti aerosola u vazduhu hale reaktora RB pomoću monitora iCAM i kontrola kontaminacije u zgradi reaktora RB uzimanjem briseva sa radnih površina i merenjem gama aktivnosti briseva na poluprovodničkom detektoru GX5020.

Ova ispitivanja su pokazala da je alfa aktivnost radona, odnosno beta aktivnost njegovih potomaka u hali reaktora RB za red veličine veća nego u drugim radnim prostorijama reaktora RB ili u odnosu na halu reaktora RA (koja se redovno i intenzivno ventilira). Ovo je posledica korišćenja gorivnih elemenata sa metalnim uranijumom obogaćenja 2% ^{235}U (koji su na reaktoru RB završili kao "škart šarža" prispela na reaktor RA tokom 1959. godine) i slabe ventilacije hale reaktora RB.

Pojedini radioaktivni otpad manje aktivnosti, koji se za vreme rutinskih operacija na reaktoru RB povremeno stvara, sakuplja se u odgovarajući kontejner u hali reaktora. Preuzimanje, transport i čuvanje ovog otpada 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 neutronskog i gama zračenja kojima je osoblje bilo izloženo). TL-dozimetre poseduju svi radnici Centra NTI, a takodje i svi radnici koji svoje poslove obavljaju u zgradi reaktora RB.

Penkalo-dozimetre sa direktnim očitavanjem doza neutronskog i gama zračenja poseduju članovi pogona reaktora RB, a daju se i radnicima koji izvode eksperimente na reaktoru. Pomoću njih se prati neposredno i trenutno ozračivanje ljudstva i o tome se vodi evidencija u dozimetrijskoj dokumentaciji reaktora.

U periodu januar-decembar 2007. godine, registrovane doze ozračivanja članova pogona, zatim eksperimentatora, 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 toku 2007. godine su prikazane tabelarno.

Apsorbovane doze gama zračenja za osoblje angažovano u pogonu reaktora RB za period januar – decembar 2007. godine

Ime i Prezime	Apsorbovana doza zračenja (mSv)
Vladan Ljubenov	1.98
Miodrag Milošević	2.04
Milenko Marković	2.19
Milun Jevremović	4.29
Dragiša Minić	2.04
Mirjana Borota	1.86
Dobrića Stanojević	2.16

Podatke o internoj kontaminaciji i ozračivanju osoblja prati i arhivira Medicinska zaštita Instituta u Vinči. Prema registrovanim nivoima kontaminacije radne sredine, interno ozračivanje ljudstva je na nivou prirodnog zračenja, odnosno u skladu je sa ALARA principom o zaštiti ljudi i okoline.

I.5. OSOBLJE POGONA REAKTORA

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

- šef pogona;
- fizičar u pogonu;
- viši operator,
- pomoćnik operatora,
- elektromehaničar, koji obavlja i poslove dozimetriste pogona, i
- dežurni dozimetrista.

Direktor Centra NTI i šef pogona su odgovorni za nesmetan i bezbedan rad reaktora. Direktor Centra NTI (Rukovodilac Projekta) je odgovoran za realizaciju zadataka predviđenih ugovorom sa Ministarstvom za nauku i zaštitu životne sredine 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 u pogonu vodi računa o nuklearnoj i radijacionoj sigurnosti reaktora RB.

Operator upravlja reaktorom prema **Pogonskim instrukcijama za rad na reaktoru RB** i direktivama šefa pogona, dok je pomoćnik operatora odgovoran za održavanje elektronskih, mehaničkih i električnih komponenti postrojenja i pratećih sistema.

Dežurni 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, dok dozimetrista pogona vodi evidenciju o pokazivanjima dozimetrijskih kanala i uredjaja reaktora RB.

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

Osoblje angažovano na reaktoru RB za period januar-decembar 2007. godine

Redni broj	Opis angažovanja	Vreme angažovanja (broj meseci)
<i>a) Stalno osoblje pogona reaktora RB</i>		
1.	Direktor Laboratorije (Rukovodilac Projekta)	0
2.	Šef pogona reaktora	3
3.	Fizičar u pogonu	3
4.	Viši operator	6
5.	Pomoćnik operatora	6
6.	Dozimetrista u pogonu	6
7.	Dežurni dozimetrista (Lab-100)	6
<i>b) Administrativno i pomoćno osoblje</i>		
1.	Administrativni radnik	6
2.	Higijeničar* Centra NTI	6

* Održavanje čistoće u hali reaktora RB obavlja higijeničar u Centru NTI.

Kvalifikaciona struktura osoblja angažovanog u pogonu reaktora RB u periodu januar-decembar 2007. godine.

Red. br.	Poslovi u pogonu	Ime i prezime	Period rada	Stručna sprema
<i>a) Pogonsko osoblje</i>				
1.	Direktor Centra NTI (Rukovodilac Projekta)	mr V.Ljubenov	0	VSS
2.	Šef pogona	mr M.Milošević	3	VSS
3.	Fizičar u pogonu	M.Marković	3	VSS
4.	Viši operator	M.Jevremović	6	SSS
5.	Pomoćnik operatora	D.Minić	6	SSS
6.	Dozimetrista u pogonu	Dj.Šipka	6	SSS
7.	Dežurni dozimetrista*	NN (Lab.-100)	6	SSS
<i>b) Administrativno i pomoćno osoblje</i>				
1.	Administrativni radnik	M.Borota	6	SSS
2.	Higijeničar Centra NTI	D.Stanojević	6	NSS

* Dežurni dozimetrista je radnik Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine (Lab-100) u Institutu u Vinči.

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 prodje. 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.

1.6. ELEMENTI FINANSIJSKOG IZVEŠTAJA ZA 2007. GODINU

Sa Ministarstvom nauke Republike Srbije (početkom 2007. godine tadašnje Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine) sklopljen je Ugovor o finansiranju istraživačkog nuklearnog reaktora RB za period januar - decembar 2007. godine. Ukupna suma za bruto zarade, troškove režije i materijalne troškove za reaktor RB je po ovom ugovoru iznosi 373.931,73 dinara mesečno, odnosno 4.487.180.77 dinara godišnje. Na ime povećanja sredstava za bruto zarade izvršilaca od 6%, u drugoj polovini godine uplaćeno je još 58.731,00 dinara. Sredinom godine MN je uplatilo investiciona sredstva za sanaciju grejanja u hali reaktora RB u visini 636.409 dinara. Krajem godine Ministarstvo nauke je kroz Projekat RB Institutu "Vinča" uplatilo 266.217 dinara na ime Sindikata. Ova sredstva je raspodelila organizacija Sindikata Instituta "Vinča".

Specifičnost korišćenja i rada reaktora u 2007. godini (dominantan angažman osoblja i opreme za potrebe Projekta VIND), uslovi su jaku spregu između Projekata VIND i RB i u delu koji se odnosi na prihode i troškove. Iz 2006. godine, kada nije bilo ugovora o finansiranju reaktora RB, preneti su praksa da se potrošni materijal i zaštitna oprema nabavljaju zajedno za potrebe oba projekta, s obzirom da se oprema i radne prostorije reaktora RB koriste za poslove u okviru projekta VIND i vrlo često nije moguće razdvojiti nastale troškove između ova dva projekta. Zbog dinamike priliva sredstava, posebno investicionih, jedan deo troškova planiranih kroz Projekat RB plaćen je privremeno ili trajno sredstvima Projekta VIND (uređenje sale u zgradi reaktora RB plaćeno sa Projekta VIND, za grejanje u hali RB prvobitno plaćeno kroz VIND naknadno su uplaćena investiciona sredstva koja su vraćena Projektu VIND). Zbog toga se jedina ispravna slika o finansijskim elementima Projekta RB u 2007. godini stiče sumarnim pregledom prihoda i rashoda Projekata VIND (podprojekti SNF i RADec koji se realizuju u

okviru Centra NTI) i projekta RB.

U Prilogu 1 ovog Izveštaja date su tabele sa pregledom prihoda, uplata sredstava i rashoda Projekta RB u 2007. godini, uz odgovarajuće napomene i objašnjenja.

Sredstva za bruto zarade izvršilaca u iznosu od 2.016.449,00 dinara ušla su u fond za plate Centra NTI. U finansijskom izveštaju Projekta VIND u 2007. godini dat je pregled ukupnih troškova na ime bruto zarada radnika, gde je uključen i deo od prihoda Projekta RB.

Sredstva za režijske troškove u iznosu od 1.056.000,00 dinara ušla su u zbirni prihod Centra NTI za režijske troškove. Detaljan prikaz režijskih troškova Centra NTI u 2007. godini dat je u finansijskom izveštaju Projekta VIND.

Za deo prihoda koji se odnosi na sredstva za direktne materijalne troškove u visini od 1.356.000,00 dinara u tabeli su dati detaljniji podaci.

Kopije svih računa, koji se odnose na troškove vezane za Projekat RB u 2007. godini, raspoložive su u Centru NTI i Zajedničkim službama Instituta "Vinča".

I.7. ZAKLJUČCI

U pogledu rada reaktora RB i održavanja opreme celog postrojenja u periodu januar-decembar 2007. godine, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- reaktor nije dostizao kritičnost. U tom periodu nije se desio ni jedan incident ili akcident vezan za rukovanje nuklearnim gorivom i radioaktivnim izvorima;
- kontrola i održavanje celokupne opreme postrojenja, kao i potrebni remontni radovi, uradjeni su uspešno u okviru tehničkih mogućnosti;
- reaktor RB u ovom periodu nije radio, pre svega zbog obveza članova pogona reaktora RB i eksperimentatora u Centru NTI prema programu VIND; i
- obnavljanje dotrajale opreme postrojenja reaktora RB i dalje ostaje važan zadatak Centra NTI i svih zainteresovanih za njegov bezbedan rad.

U vezi sa pogonom i eksploatacijom reaktora u periodu januar – decembar 2007. godine i tekućem planskom periodu, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- nuklearni reaktor RB će se i dalje koristiti za istraživanja u oblasti osnovnih nauka i u oblasti tehničko-tehnoloških nauka, a takodje i za potrebe zaštite profesionalnog osoblja i stanovništva od nuklearnog zračenja;
- s obzirom da je sveže visoko-obogaćeno gorivo sa reaktora RB transportovano u Rusiju, na reaktoru RB je ostalo samo metalno gorivo sa nisko-obogaćenim i prirodnim uranijumom, tako da 708 gorivnih elemenata obogaćenja 2 % ²³⁵U nije dovoljno da bi se mogli izvoditi svi eksperimenti koji su prethodnih godina izvodjeni, odnosno, mogućnosti reaktora RB su oslabljene.

Planirani korisnici usluga reaktora RB u narednom periodu su:

- učesnici istraživanja u oblasti osnovnih nauka i tehničko-tehnoloških nauka kod Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije,
- Univerzitet u Beogradu, i
- Medjunarodna 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 nabavki repromaterijala i rezervnih delova u zemlji, a delimično i u inostranstvu;
- za zamenu dotrajale opreme reaktora RB, neophodno je obezbediti dodatna investiciona sredstava.

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu za period januar-decembar 2007. godine

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 reaktora, tako i u pogledu mehaničkih svojstava košuljice gorivnih segmenata i gorivnih elemenata. Kontrola gorivnih elemenata u periodu januar - decembar 2007. godine 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 (šipki) od metalnog prirodnog uranijuma;
- gorivni element (br. 208) sa metalnim prirodnim uranijumom je rastavljen (na 3 šipke dužine po oko 70 cm);
- gorivni element (br. 206) sa metalnim prirodnim uranijumom je konzerviran i stavljen van upotrebe zbog naprsnuća aluminijumske košuljice;
- postoji 708 gorivnih segmenata od metalnog uranijuma obogaćenja 2% ^{235}U , i
- jedan gorivni segment od metalnog uranijuma obogaćenja 2% ^{235}U je izbušen radijalno na više mesta za potrebe merenja prostornih i energetskih raspodela neutrona u ćeliji rešetke reaktora.

Kontrolu inventara goriva vrše Komisija generalnog direktora Instituta u Vinči (jednom godišnje) kao i inspektori Medjunarodne Agencija za Atomsku Energiju iz Beča (do septembra meseca 2002. jednom mesečno, a od tada jednom godišnje).

II.1.2. Teška voda

Raspoloživa količina teške vode u rezervoaru iznosi 5700 kg. Prebacivanjem teške vode iz rezervoara u reaktorski sud, može da se dostigne visina od 165.0 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 merenju, izvršenom 29. 09. 2002. godine, teška voda je imala sastav 97.15 % 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 takodje 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 Centru NTI na polušrovdničkom spektrometru sa Ge pokazuju da u vodi nema aktiviranih nečistoća. Na osnovu ranijih merenja sastava teške vode (analize teške vode nisu vršene 2003., 2004., 2005., 2006. i 2007. godine.) može da se zaključi da je sastav teške vode opao ispod 96.4 % mol D_2O .

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 najlošijih 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 Seizmološkog zavoda Republike Srbije zemljotresi sa maksimalnim ubrzanjem od 0.15 g na lokaciji reaktora RB mogu da 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 dodje 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 (četrdesetogodišnje) stanje. Ipak, Centar NTI 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 zemljotresa 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 izradjen (1958. godine). Nema nikakvih tragova taloga i korozije na njegovim unutrašnjim zidovima.

Od puštanja reaktora u rad do danas na cevovodu teške vode nije bilo 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 nerđjajućom čelicom košuljicom u delu kroz koji protiče voda, funkcioniše dobro već punih 40 godina.

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.

Problem sa ovim ventilom za brzo punjenje teške vode je taj što je nakon rada reaktora na izabranoj snazi otežano otvaranje ovog ventila za pražnjenje "brzo" usled verovatnog slepljivanja površina ventila. Posle jednog od prethodnih otkaza ovih ventila (1992. godine) nabavljeni su novi ventili domaće proizvodnje koji će biti ugradjeni kod sledećeg otkaza postojećih ventila (otkaz ventila ne može da ugrozi sigurnost reaktora RB, već samo da prekine njegov rad).

Tokom 2007. godine digitalni termometar je ugradjen u rek komandnog pulta reaktora RB. Proverom rada ustanovljeno je da u opsegu temperatura od 0°C do 60°C ovaj termometar pokazuje za 2.4°C veću temperauru od stvarne.

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 toku 1990. godine izradjena 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. U toku 2003 godine izvršena je zamena dugih sigurnosnih šipki (SŠ1 i SŠ2) kratkim sigurnosnim šipkama SŠ1 i SŠ2.

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 u komandni pult su ugradjena 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 pulta

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:

- 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.. Za ove kanale ne postoje rezervni delovi. Stanje kablova na kanalima br. 3 i 4 je loše zbog dotrajalosti. Pisači za praćenje snage vezani za ove kanala su u radnom stanju, i pored učestalih kvarova;
- linearni strujni kanali broj 5 i 6 su vezani u sigurnosni sistem reaktora i imaju sigurnosni prag postavljen na kraju svakog izabranog opsega, međjutim, 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). Tokom 2007. godine je testiran sistem za akviziciju podataka sa kanala broj 6 (USB akvizicioni modul povezan sa standardnim računarom). Razvijena je softverska podrška (u jezulu LabView) za ovaj akvizicioni modul. Takođe su nabavljena i dva konvertora za praćenje signala sa kanala broj 6 i kanala N (1, 2 ili 3);
- kanali F1 i F2 su uključeni u sigurnosni sistem reaktora RB sa postavljenim pragovima za snagu i periodu. Trenutno, ovi kanali se 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 Centru NTI 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

Održavanje dozimetrijskih kanala JP1, JP2 i JP3 za merenje brzine doze gama zračenja je sve teže.

Neutronski dozimetrijski kanal RBND 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.

Imulsni 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 (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).

Sistem neutronske izora ($Ra-\alpha-Be$) je dobro radio, s tim da je tokom 2007. godine u toku provere prisustva radona u hali reaktora RB premešten sa svoje početne pozicije. Tom prilikom je otkaçena cev kojom izvor putuje do elektro-magneta ispod reaktorskog suda. Proverom je utvrđeno da je izvor dobro mehanički zaštićen i da je cev kojom se izvor kreće u dobrom stanju.

II.2.4. Merna instrumentacija i računarska oprema

U toku 2007. godine je posle dugotrajnih priprema napravljen pokretni sistem sa poluprovodničkim koaksijalnim Ge detektorom i odgovarajućim olovnim i čeličnim kolimatorima. Sistem je namenjen za merenje aktivnosti geometrijski složenih uzoraka i predmeta. Za ove potrebe je ovladano procedurom za numeričku kalibraciju detektora pomoću Monte Carlo programa MCNP.

II.3. ODRŽAVANJE MAŠINSKE I ELEKTRO OPREME

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

II.3.1. Uredjaji za napajanje električnom energijom

Uredjaji 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. S obzirom da je ulje u oba transformatora bilo neispravno, izvršeno je njegovo filtriranje i isušivanje, tako da je sada ulje kvalitetno i 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 u eksperimentima za obezbeđenje jednosmerne napona su radili ispravno.

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 i kanala za ozračivanje uredjaja velikih dimenzija 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

Opravkom spojeva na kablju između komandne sobe i kompresora pneumatska puška za podizanje i spuštanje neutronskog izvora je tokom 2007. godine radila ispravno. Redovno je kontrolisan 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. Tokom 2007. godine izvršena je zamena sijalice na tabli "REAKTOR RADI".

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 obavljeno 23. 11. 2004. godine. Atest je dobijen od "Mašinskog fakulteta" Univerziteta u Beogradu. U atestu stoji da "MOSNA DIZALICA fabrički broj: 842 ZADOVOLJAVA zahteve propisane članom 23 Zakona o zaštiti na radu (SG RS br. 42/91 br. 53/93, br. 67/93, br. 48/94, i br. 42/98), kao i uslove propisane Pravilnikom o tehničkim normativima za dizalice (SL SFRJ br. 65/1991)."

Krajem 2007. godine uočeni su problemi u radu kрана, posebno pri sporom i brzom kretanju kрана na desnu stranu.

II.4. KONTROLA I ODRŽAVANJE POMOĆNIH SISTEMA I INSTALACIJE

II.4.1. Ventilacija i grejanje

Na ventilacionom sistemu pregledana su sva četiri elektromotora: dva u hali reaktora i dva u klima komori.

Zbog prskanja cevi u sistemu za grejanje hale reaktora RB (početkom 2007. godine), tokom juna 2007. godine izvršena je rekonstrukcija instalacija za grejanje hale reaktora RB. Ova rekonstrukcija je obuhvatila: zamenu svih cevi od podstanice do radijatora, zamenu svih ventila, ispiranje svih radijatora i farbanje radijatora i cevi.

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.

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, i nabavljeni su »toki-voki« uredjaji.

II.4.5. Vodovod i kanalizacija

Snabdevanje vodom je obezbedjeno 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.

U toku 2001. i 2002. godine izvršena je kompletna zamena vodovodne mreže u Institutu.

II.5. ODRŽAVANJE RADNIH PROSTORIJA

Usled dotrajalosti staklenih prizmi ugrađenih u severni zid hale reaktora RB, izvršeni su sledeći radovi: uklonjene su sve staklene prizme, postavljena je nova aluminijumska konstrukcija u koju su montirani prozori sa termo staklom, postavljene je metalna rešetka sa spoljašnje strane prozora i izvršene je opšivka limom prostora između hale reaktora i krovne konstrukcije.

Zbog prokišnjavanja hale reaktora RB, postavljen je potpuno novi krov od pocinkovanog plastificiranog lima, ugrađeni su kanali obloženi limom za otakanje kišnice i naparavljene su okapnice po obodima krova hale.

ISTRAŽIVAČKI NUKLEARNI REAKTOR RB
(Pogon i održavanje)

Izveštaj o radu za period januar - decembar 2007. godine

III Deo

KORIŠĆENJE REAKTORA RB

III.1 KORIŠĆENJE REAKTORA RB U TOKU 2007. GODINE

U odnosu na dosadašnju eksploataciju reaktora RB, njegovo korišćenje u 2007. godini je bilo veoma specifično, pre svega zato što su ljudski potencijali (članovi pogona i eksperimentatori) i oprema reaktora RB (poluprovodnički Ge detektor sa višekanalnim analizatorom MCA166 i referentni poluprovodnički detektor GX5020) bili intenzivno angažovani na poslovima obezbedjenja nuklearne i radijacione sigurnosti tokom operacija sa isluženim gorivom reaktora RA u okviru programa VIND. Osnovni rezultati koje su članovi pogona reaktora RB ostvarili tokom 2007. godine su sumirani u nastavku ovog izveštaja.

§0. Sa aspekta analiza radijacione sigurnosti u okviru projekta VIND, formiranje klastera od 6 računara u Centru NTI-150 početkom 2007. godine i njegovo proširenje krajem 2007. godine na 11 računara predstavlja značajno ostvarenje.¹ Klaster koristi FreeBSD Unix, Ver. 4.11 (iz 2005. godine) i omogućava korišćenje za nas važnog Monte Karlo programa MCNP-4C u PVM (Parallel Virtual Machine) modu. Na njemu su osim pomenutog programa MCNP-4c instalirani i drugi računarski programi: SCALE-44a, NJOY-99, DIF3D, MOCUP, ORIGEN2 i drugi programe. U PVM modu klaster ima efektivnu snagu od 30 GHz i radi veoma stabilno.

III.1.1. Podprojekat - Transport isluženog nuklearnog goriva reaktora RA

§1. Početkom 2007. godine je završena obrada rezultata skeniranja prisustva isluženih gorivnih elemenata reaktora RA smeštenih u čeličnim kontejnirima. Dobijeni rezultati su prikazani u Ref. [1].

§2. Izvršeno je merenje slabljenja gama zračenja iz referentnog gorivnog kanala sa jedanaest isluženih gorivnih elemenata (smeštenih u čeličnom kontejneru broj 289) kroz olovno staklo na metalnim vratima prostorije broj 99 u biološkom štitu reaktora RA. Poredjenjem sa rezultatima proračuna, dobijenih pomoću metodologije razvijene i testirane u Institutu u Vinči, utvrđeno je da prozor na metalnim vratima prostorije broj 99 sadrži olovno staklo tipa TF-5 (gustine $4.76 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) prečnika 27 cm i debljine 30 cm i na spoljnoj strani obično staklo (gustine $2.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) istog prečnika i debljine 10 cm. Detaljan prikaz dobijenih rezultata je dat u Ref. [2].

§3. Uradjene su analize sigurnosti nuklearne kritičnosti za kontejner tipa TUK-19 sa svežim gorivnim elementima obogaćenja 2% i 80% ^{235}U i analize radijacione sigurnosti za ove kontejnere sa isluženim gorivnim elementima maksimalnog izgaranja. Dobijeni rezultati su prikazani u Ref. [2]. Takodje su uradjene analize sigurnosti nuklearne kritičnosti za kontejnere tipa Skoda VPVR/M i pomoćni olovni kontejner (koji će se koristiti za prenošenje kanistera kontejnera TUK-19), kao i analize radijacione sigurnosti za ove kontejnere sa isluženim gorivnim elementima maksimalnog izgaranja.

Ove analize su pokazale da između rezultata dobijenih metodologijom razvijenom u Institutu u Vinči i rezultata koje je za Preliminarne sigurnosne izveštaje PSAR i PTSR pripremo Institut iz Sarova, Tabele I, II i III, postoje neprihvatljivo velike razlike.

¹ Instalaciju operativnog sistema FreeBSD Unix (Version 4.11) na svim računarima (nodovima) je obavio V. Kalik, a instalaciju softvera PVM-3.4.5 za paralelni rad nodova u PVM modu (tj. za stvarnje višeprocorskog sistema klaster tipa) i instalacije računarskih programa SCALE-4.4a, MCNP-4C, ORIGEN-2.1, MOCUP, NJOY-99, DIF3D i drugih, je uradio šef pogona reaktora RB.

Tabela I. Jačina ekvivalentne doze kontaktno na polovini visine transportnog kontejnera TUK-19 (Ref. [1])

Vrsta zračenja	Jačina ekvivalentne doze [$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$]	
	Sarov	Vinča
Gama	113.60	63.4+1.4%
Neutroni	0.29	2.6+0.1%

Tabela II. Jačina ekvivalentne doze kontaktno na polovini visine transportnog kontejnera Škoda VPVR/M

Vrsta zračenja	Jačina ekvivalentne doze [$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$]	
	Sarov	Vinča
Gama	6.90	3.2+3.6%
Neutroni	1.35	4.1+0.1%

Tabela III. Jačina ekvivalentne doze kontaktno na polovini visine pomoćnog olovnog kontejnera za kanistere kontejnera TUK-19

Vrsta zračenja	Jačina ekvivalentne doze [$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$]	
	Sarov	Vinča
Gama	1.035	6.9+1.0%
Neutroni	N/A	7.3+0.2%

§4. Uradjene su analize radijacione sigurnosti (odnosno određeni su izvori gama i neutronske zračenja kao i jačine ekvivalentnih doza gama i neutronske zračenja) za predviđene operacije rukovanja sa isluženim gorivnim elementima u prostoriji broj 99 (u biološkom štitu reaktora RA) i u prostoriji broj 141, zatim za projektne akcidente u operacijama prepakivanja isluženog goriva u prostoriji broj 141.

I ove analize su pokazale da između rezultata dobijenih metodologijom razvijenom u Institutu u Vinči i rezultata koje je za Preliminarne sigurnosne izveštaje PSAR i PTSR pripremo Institut iz Sarova, postoje neprihvatljivo velike razlike.

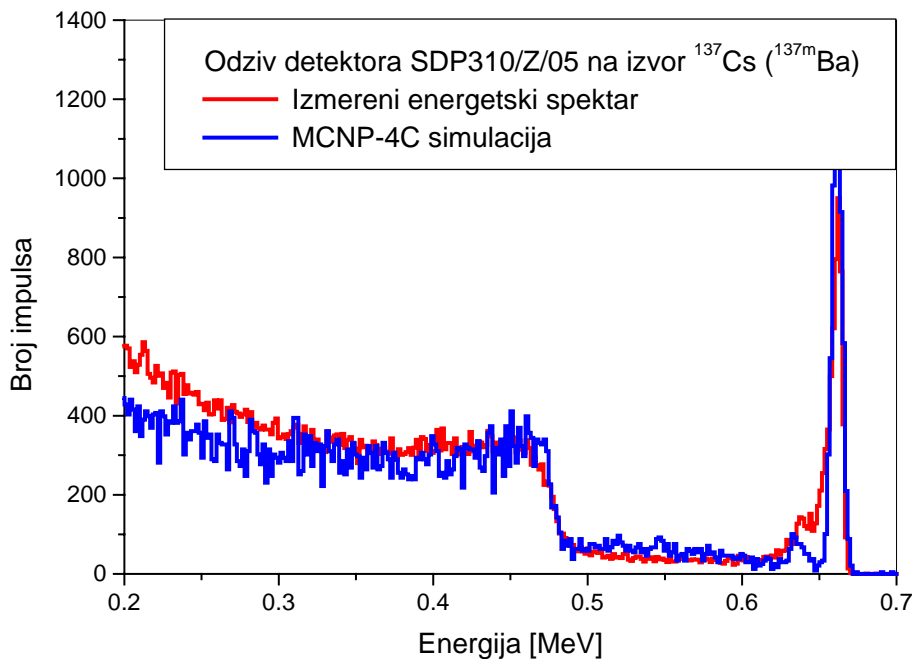
§5. U okviru aktivnosti eksperimentalnog određivanja izgaranja isluženog goriva reaktora RA uradjene su numeričke simulacije na osnovu kojih su određeni faktori kalibracije poluprovodničkog detektora sa CdZnTe kristalom koji je korišćen za merenje aktivnosti ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$) gorivnih elementa smeštenih u čeličnim kontejnirima u bazenima prostorije broj 141, i određeno je izgaranje gorivnih elementa sa maksimalnim izgaranjem goriva na osnovu merenja aktivnosti ^{137}Cs .

U drugoj polovini 2007. godine je prepoznat problem u originalnom programu SPEC² koji je korišćen tokom merenja energetskog spektra gama zračenja iz isluženih gorivnih elemenata reaktora RA za određivanje površine pika ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$), zbog čega je izvedeno usvršeno modelovanje odziva poluprovodničkog detektora sa kristalom CdZnTe zapremine 5 mm^3 pomoću Mone Karlo programa MCNP-4C. Dobijeni rezultati prikazani na slici 1 pokazuju

² "Reference Manual for Instrumentation MMCA Multi Channel Scalar (MCS) mode," SG-RM-101 Rev 0, International Atomic Energy Agency, Vienna, October 2002.

srazmerno dobro slaganje proračuna i merenja odziva korišćenog CdZnTe detektora. Prikazana analiza odziva CdZnTe detektora sa usmerenim kolimatorom od folframa je značajna za aktivnost merenja izgaranja isluženog goriva reaktora RA, jer pokazuje da je najbolje da se kao mera za aktivnost ^{137}Cs koristi interval od minimuma između Komptonovog pika i pika koji pripada ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$) do maksimalne energije na kojoj je izmeren odziv na ^{137}Cs . Za korišćeni detektor sa CdZnTe kristalom zapremine 5 mm^3 ovaj interval iznosi od 602 keV do 678 keV.

§6. Tokom korišćenja programa MCNP-4C za određivanje ekvivalentnih jačina gama i neutronskog zračenja u okolini postojećih i planiranih kontejnera sa isluženim gorivom reaktora RA razvijen je poseban postupak za smanjenje neodređenosti Monte Karlo proračuna zasnovan na tehnikama izbora važnosti zona u biološkim štitovima. Suština izabranog postupka je da omogući forsirani transport čestica radijacionog zračenja u pravcu ka spoljašnjoj površini biološkog štita. To je postignuto izborom adjungovanog fluksa u zonama biološkog štita za važnost u ovim zonama. Pri tome je za određivanje adjungovanog fluksa za zadati izvor na spoljašnjoj površini biološkog štita sa energetsom raspodelom koja je jednaka funkciji odziva dozimetra analiziranog radijacionog zračenja korišćen višegrupni transportni program XSDRNPM iz paketa računarskih programa SCALE-4.4a. Poređenjem rezultata merenja slabljenja gama zračenja iz referentnog gorivnog kanala kroz olovno staklo na metalnim vratima prostorije broj 99 u biološkom štitu reaktora RA, potvrđeno je da metodologija redukcije varijansi koju smo pripremili dobro opisuje slabljenje gama i neutronskog zračenja kroz debele slojeve biološke zaštite.



Sl. 1. Poređenje rezultata merenja i numeričke simulacije odziva CdZnTe detektora sa usmerenim kolimatorom od folframa na standardni laboratorijski izor sa ^{137}Cs

§7. Radi otklanjanja mogućnosti da se unošenjem pogrešnih ulaznih podataka u referentni Monte Karlo program MCNP-4C proizvedu pogrešne analize radijacione sigurnosti, u rutinsku praksu su uvedeni:

a) DERIVE skript GRAF.mth (Gamma Ray Attenuation Formalizm) zasnovan na analitičkim formulama za slabljenje gama zračenja iz cilindričnog izvora kroz ravne absorbere i na faktorima

nakupljnja za jačinu ekvivalentne doze, koji se osim primene za određivanje jačina doza gama zračenja iza transportnih kontejnera, koristi i za određivanje efektivnih izvora gama zračenja³ u višegrupnim proračunima slabljenja gama zračenja;

b) jednodimenzionalni 18-grupni transporni program XSDRNPM iz paketa programa SCALE-4.4a (zasnovan na metodi diskretnih ordinata), koji se osim za proveru ispravnosti unetih podataka u referentni program MCNP-4C koristi i za optimizacije bioloških štitova; i

c) trodimenzionalni 18-grupni Monte Karlo program MORSE iz paketa programa SCALE-4.4a kao osnovni program za rutinska ("design oriented") određivanja jačina ekvivalentnih doza gama i neutronske zračenja.

Kao primer određivanja jačina ekvivalentne doze, u Tabeli IV su prikazani dobijeni rezultati za jačine ekvivalentne doze gama zračenja u radijalnom pravcu na polovini visine kontejnera TUK-19, a u Tabeli V vrednosti debljine olova i betona za različite jačine ekvivalentne doze gama zračenja na spoljašnjoj površini kontejnera CG8Hc9 sa filtrom za ¹³⁷Cs aktivnosti 18.5 TBq (500 Ci). Ovi rezultati ilustruju dobro slaganje metoda i programa koji se u Institutu u Vinči koriste za analize radijacione sigurnosti.

Tabela IV. Rezultati za jačinu ekvivalentne doze gama zračenja u radijalnom pravcu na polovini polovini visine kontejnera TUK-19 dobi dobijeni u Institutu u Vinči

Program	Jačina ekvivalentne doze [μSv/h]		
	0 cm	100 cm	200 cm
<i>Detaljna geometrija kontejnera sa isluženim girvnim elementima</i>			
MCNP-4C	63.4±1.4%	10.4±0.6%	3.8±0.6%
<i>Geometrija sa zapreminski homogenizovanim gorivnim elementima</i>			
MCNP-4C	70.4±1.5%	11.6±1.4%	4.1±1.8%
MORSE	64.9±1.5%	10.8±0.6%	3.9±0.9%
XSDRNPM	71.9	11.0	4.0
GRAF.mth	65.4	9.5	3.8

Tabela V. Vrednosti debljine olova i betona (KENO-standard) za različite jačine ekvivalentne doze gama zračenja na polovini visine kontejnera CG8Hc9 sa izvorom ¹³⁷Cs aktivnosti 18.5 TBq

Proračun	Debljina olova [cm]				
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0
<i>Debljina betona [cm] za jačinu ekvivalentne doze od 200 μSv⁻¹</i>					
MCNP-4C	65.0	46.2	28.1	8.6	-
GRAF.mth	63.7	46.9	28.9	10.1	-
<i>Debljina betona [cm] za jačinu ekvivalentne doze od 10 μSv⁻¹</i>					
MCNP-4C	82.3	62.8	45.9	27.6	8.3
GRAF.mth	81.1	63.7	46.7	28.6	8.8

³ Računarski programi MORSE i XSDRNPM iz paketa programa SCALE-4.4a koriste 18-grupnu biblioteku preseka za interakcije gama zračenja u kojoj su usrednjeni preseki za gama zračenje ¹³⁷Cs (odnosno ^{137m}Ba) u energetskej grupi od 0.6 MeV do 0.8 MeV manji od realnih preseka za energije od 0.66166 MeV, što bi bez korekcije izvora u ovoj grupi zasnovane na očuvanju jačine ekvivalentne doze vodilo ka pogrešnim višegrupnim proračunima.

S obzirom da je u više eksperimenata tokom 2005. I 2006. godine⁴ potvrđeno dobro slaganje referentne metodologije zasnovane na Monte Karlo programu MCNP-4C sa rezultatima merenjima, i s obzirom da je paralelno korišćenje metoda i programa uvedenih tokom 2007. godine omogućilo eliminisanje grešaka vezanih za unošenje podataka o geometriji i sastavu materijalnih zona, obezbedjeni su uslovi za pouzdano određivanje jačina ekvivalentnih doza u svim operacijama sa isluženim gorivom reaktora RA.

§8. U toku je:

- a) ponovljena finalna obrada rezultata merenja izgaranja isluženog goriva reaktora RA na osnovu najnovijih rezultata numeričke simulacije odziva CdZnTe detektora;
- b) analiza radijacione sigurnosti tokom operacija provere kanistera za kontejnere tipa TUK-19 i Škoda VPVR/M.

III.1.2. Podprojekat - Dekomisija nuklearnog reaktora RA

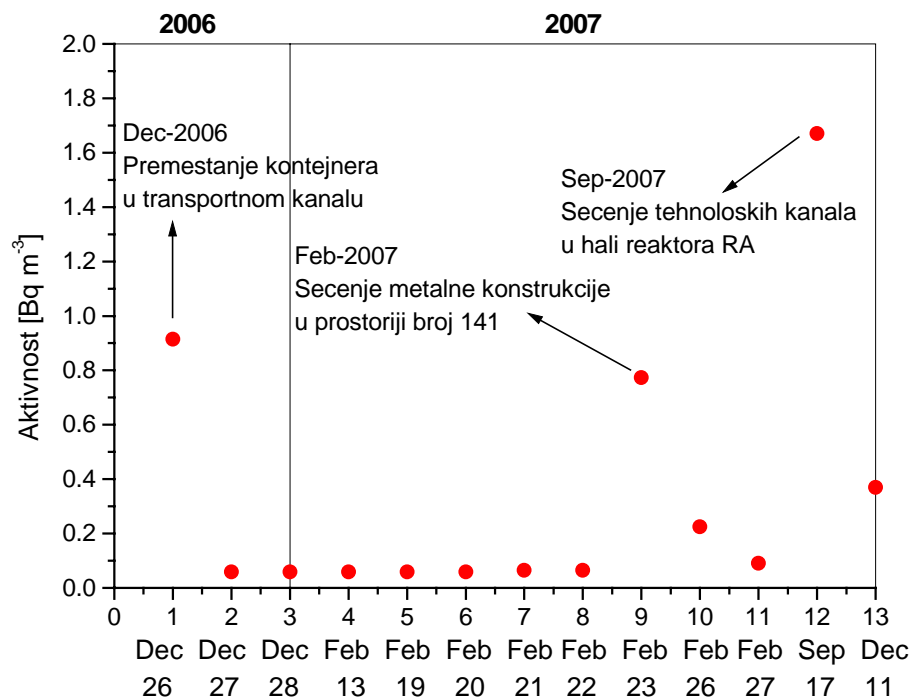
§9. Nastavljeno je merenje aktivnosti alfa i beta emitera u vazduhu prostorija reaktora RA. Tokom uklanjanja metalne konstrukcije iz bazena za odležavanje isluženih gorivnih elemenata reaktora RA smeštenih u prostoriji broj 141 redovno je vršeno merenje aktivnosti beta emitera u vazduhu pomoću monitora AMS-4, dok je tokom sečenja praznih tehnoloških kanala i unutrašnjih sklopova izvadjenih iz tehnoloških kanala sa isluženim gorivom, merenje aktivnosti beta emitera u vazduhu hale reaktora RA obavljano povremeno.

Monitor beta aktivnosti u vazduhu AMS-4 sadrži dva zatvorena proporcionalna brojača i pumpu za usisavanje vazduha iz radne prostorije kroz specijalni papirni filter. Omogućava neprekidnu kontrolu beta aktivnosti u radnoj prostoriji. Opremljen je alarmom sa veoma brzim odzivom. Alarm je postavljen na vrednost od $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

S obzirom da monitor AMS-4 ne omogućava identifikaciju beta emitera, naknadno je posle svakog radnog dana u kome je monitor korišćen vršeno merenje aktivnosti njegovog papirnog filtra na referentnom poluprovodničkom detektoru tipa GX5020 (refGe). Kalibracija detektora za papirni filter monitora AMS-4 je uradjena numeričkom simulacijom primenom postojećeg računarskog softvera GenieTM 2000 firme Canberra.

Dobijeni rezultati merenja aktivnosti ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) u vazduhu radnih prostorija na reaktoru RA tokom 2007. godine su prikazani na slici 2.

⁴ M.J. Milošević, "Determination of Neutron and Gamma ray Dose rate on the Outer Surface of Existing Containers with Irradiated Fuel in the Spent Fuel Storage Used in the RA Reactor Building," The IAEA TC contract No. SCG/4/003-89102A, Vinča-NTI-137, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, October 2005, pp.1-107.



Sl. 2. Izmerene aktivnosti ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) u vazduhu prostorije broj 141 i hali reaktora RA tokom 2007. godine

Radi poredjenja, uobicajene vrednosti ukupne beta aktivnosti u vazduhu radnih prostorija reaktora RA (stvorene beta raspadima potomaka gasovitih produkata ^{222}Rn i ^{220}Rn) izmerene tokom 2007. godine iznose $1.5\div 3 \text{ B}\cdot\text{m}^{-3}$. Ovo znači da su maksimalne indukovane aktivnosti ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) u vazduhu u zgradi reaktora RA tokom 2007. godine dostizale prirodnu aktivnost beta emitera u prostorijama reaktora RA.

§10. U toku 2007. godine kompletirana je pokretna oprema za merenje energetskih spektara gama zračenja za potrebe radiološke karakterizacije sistema reaktora RA kao i za potrebe radiološke karakterizacije radioaktivnog otpada koji će nastati tokom procesa transporta isluženog goriva i dekomisije reaktora RA. Ova oprema je bazirana na korišćenju tri višekanalna analizatora tipa MCA166 (vlasništvo IAEA) kojima se upravlja pomoću palm-top računara tipa HP200LX ili pomoću PC računara. Ovi analizatori se napajaju preko akumulatorskih baterija i u stanju su rade neprekidno najmanje 4 sata po nestanku električnog napajanja. Za postojeći software SPEC (za merenje energetskog spektra gama zračenja) za sva tri višekanalna analizatora pripremljeni su SETUP parametri za sledeće detektore:

- poluprovodnički koaksijalni Ge detektor (mobGe) hladjen tečnim azotom (sa rezervoarom koji omogućava neprekidan rad od najmanje 5 dana), sa olovnom kolimatorom debljine 5 cm na pokretnim kolicima i sa rezolucijom od 2.2 keV za energiju ^{137}Cs (odnsono $^{137\text{m}}\text{Ba}$) od 661.66 keV (slika 3 i 4)⁵;
- poluprovodnički detektor SDP310/Z/05sa kristalom CdZnTe ukupne zapremine 5 mm^3 u kolimatoru od folframa sa usmerenom šupljinom kao na slici 5 i sa rezolucijom od 7 keV za energiju ^{137}Cs (odnsono $^{137\text{m}}\text{Ba}$) od 661.66 keV, namenjen za radiološku karaktrizaciju u poljima sa visokom jačinom doze gama zračenja;

⁵ Olovni kolimator sa pokretnim kolicima za koaksijalni germanijumski detektor je uradio S. Stanić, prema tehničkim zahtevima podnosioca ovog Izveštaja (debljina i položaj olovnog kolimatora u odnosu na eksperimentalno utvrdjeni položaj kristala Ge).

- scintilacioni detektor tipa NaI, dimenzija $3.8 \times 3.8 \text{ cm}^2$ u kolimatoru od olova debljine 1.5 cm, slika 6, sa rezolucijom od 50 keV za energiju ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$) od 661.66 keV (za ovaj detektor je pored SPEC moda za merenje energetskog spektra gama zračenja pripremljen i MCS mod za merenje vremenske raspodele broja impulsa u analiziranom polju zračenja);
- scintilacioni detektor tipa NaI, dimenzija $7.5 \times 7.5 \text{ cm}^2$ bez kolimatora; i
- scintilacioni detektor tipa NaI, dimenzija $2.5 \times 0.1 \text{ cm}^2$ u kolimatoru od nerdjajućeg čelika namenjen za merenja energetskog spektra X zračenja teško merljivih nuklida nastalih aktivacijom umaklih neutrona iz jezgra reaktora RA, slika 7, sa rezolucijom od 12 keV za energiju ^{241}Am od 59.537 keV.

Za potrebe uvođenja novih korisnika ovih pokretnih sistema za merenje energetskih spektara gama zračenja, u drugoj polovini 2007. godine je odražana prezentacija rada sistema za sve učesnike VIND projekta, na kojoj je demonstrirano određivanje aktivnosti plastične posude sa vodom iz čeličnog kontejnera broj 237 (SSC237) u koji su smešteni isluženi gorivni elementi reaktora RA.

§11. Za prikazane detektore su razvijeni geometrijski modeli za potrebe numeričke kalibracije detektora pomoću Monte Karlo programa MCNP-4C (Ref. [3]). Ovi modeli će biti osnova za utvrđivanje aktivnosti radioaktivnih nuklida nastalih aktivacijom umaklih neutrona iz jezgra reaktora RA; kao i onih nastalih kontaminacijom sistema primarnog kola za hlađenje reaktora RA i prostorije za skladištenje isluženog goriva, ili odlaganjem radioaktivnog otpada. Zbog ovih potreba, razvijeni geometrijski modeli za numeričku kalibraciju detektora su pažljivo proveravani korišćenjem standardnih laboratorijskih izvora poznate aktivnosti. Geometrijski modeli poluprovodničkih detektora sa germanijumom i kristalom CdZnTe su prikazani na slikama 8 i 9. Na slikama 10, 11 i 12 su dati rezultati poredjenja merenja i numeričke simulacije energetskog spektra standardnih laboratorijskih izvora za poluprovodnički koaksijalni detektor (mobGe). Poredjenje rezultata merenja i numeričke simulacije energetskog spektra gama zračenja iz plastične posude sa vodom iz čeličnog kontejnera SSC237 za poluprovodnički detektor sa kristalom CdZnTe je dato na slici 13.

Rezultati dobijeni u Institutu u Vinči, pokazuju srazmerno dobro slaganje proračuna i merenja odziva korišćenih poluprovodničkih detektora sa kristalima Ge i CdZnTe.

§12. Prikazani MCNP-4C geometrijski model za numeričku kalibraciju pokretnog koaksijalnog poluprovodničkog Ge detektora (mobGe) je korišćen za merenje aktivnosti plastičnih posuda sa vodom iz čeličnih kontejnera sa islužnim gorivnim elementima reaktora RA. Zbog različitih aktivnosti vode iz čeličnih kontejnera sa islužnim gorivom, za svaku posudu sa vodom je eksperimentalno utvrđeno rastojanje od koaksijalnog Ge detektora tako da mrtvo vreme rada ovog detektora bude manje od 1%. Zbog različitih rastojanja između posuda sa vodom i koaksijalnog Ge detektora za svako obavljeno merenje je vršena numerička kalibracija detektora pomoću Monte Karlo programa MCNP-4C. Za numeričku simulaciju koaksijalnog Ge detektora i posude sa radioaktivnom vodom pri ukupnom broju istorija od 10^9 , koji u oblasti pikova ^{137}Cs i ^{60}Co obezbeđuje statističku neodređenost ispod 0.5% (odnosno ispod 2% na energijama izvan pikova) potrebno CPU vreme na jednom PC računaru P4 na 3.0 GHz iznosi oko 5 dana. Zahvaljujući FreeBSD klasteru ukupne snage od 30 GHz pomenute numeričke simulacije su bile obavljene za svaku posudu sa radioaktivnom vodom.

Radi poredjenja sa aktivnošću vode u bazenima prostorije broj 141, u Tabeli VI su prikazani rezultati merenja dobijeni korišćenjem oba koaksijalna Ge detektora (refGe i mobGe).

Dobijeni rezultati za specifičnu aktivnost vode uzete iz čeličnih kontejnera sa islužnim gorivom su prikazani u Tabeli VII. Na osnovu prikazanih rezultata sledi da najveću specifičnu aktivnost u iznosu od $3.4 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{ml}^{-1}$ ima voda iz čeličnog kontejnera broj 253 (sa 5 LEU i 6 HEU islužnih gorivnih elemenata). U slučaju da ovaj kontejner sadrži standardnu vrednost destilovane vode (oko 6500 ml), ovo znači da ukupna aktivnost ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$) u čeličnom kontejneru broj 253 iznosi oko 1% od ukupne aktivnosti ^{137}Cs (odnosno $^{137\text{m}}\text{Ba}$) sadržane u 11 islužnih gorivnih elemenata u ovom kontejneru.



Sl. 3. Pokretni poluprovodnički Ge detektor (mobGe) sa olovnim kolimatorom



Sl. 4. Pokretni poluprovodnički Ge detektor sa olovnim kolimatorom usmerenim prema kutiji sa standardnim laboratorijskih izvorima gama zračenja poznatog intenziteta



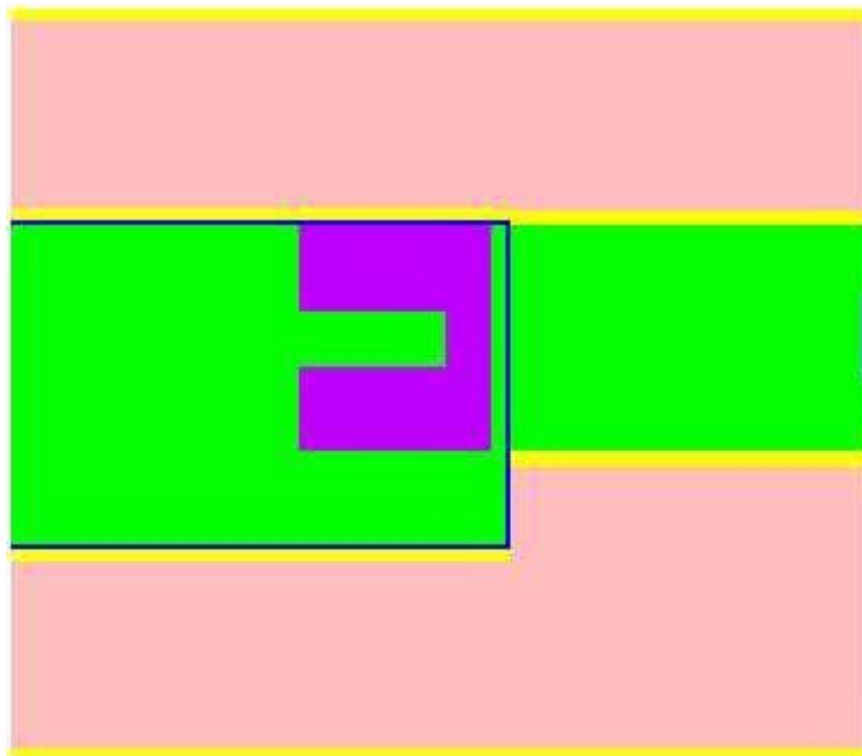
Sl. 5. Poluprovodnički detektor SDP310/Z/05 sa kristalom CdZnTe 5 mm³ u kolimatoru od folframa sa usmerenom šupljinom prema izvoru gama zračenja



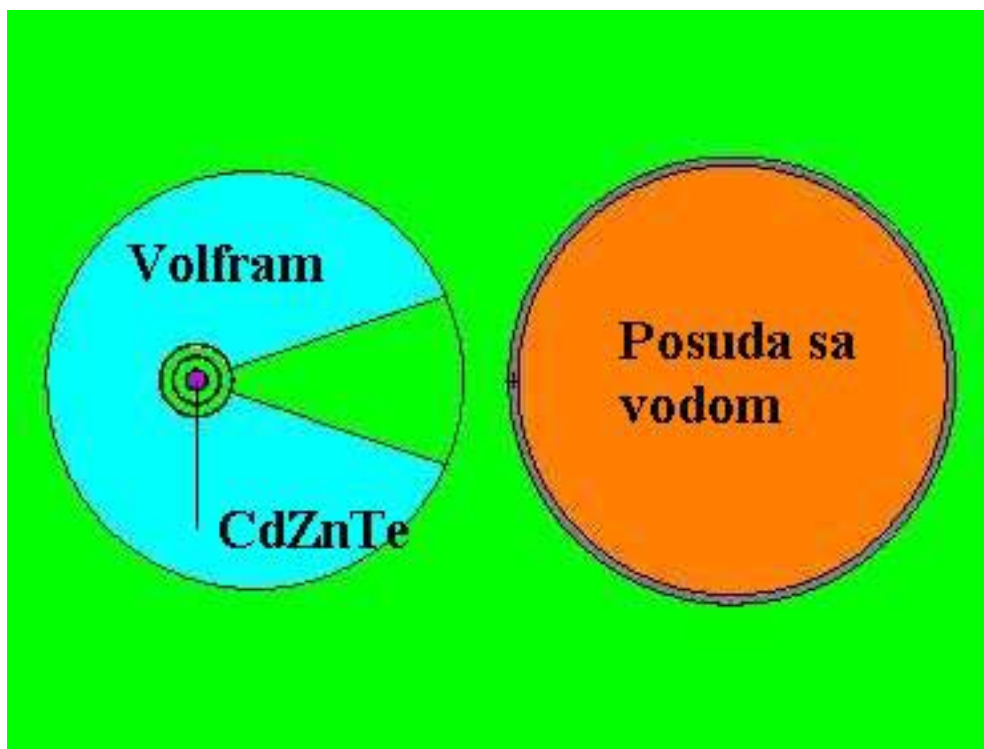
Sl. 6. Scintilacioni detektor tipa NaI, dimenzija 3.8x3.8 cm² u kolimatoru od olova debljine 1.5 cm



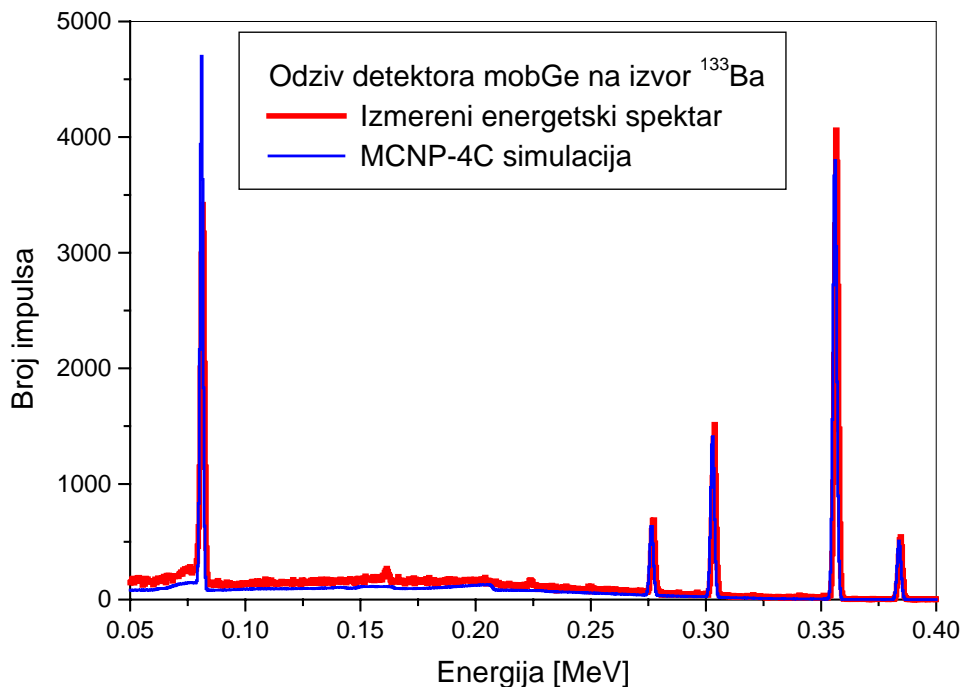
Sl. 7. Scintilacioni detektor tipa NaI, dimenzija $2.5 \times 0.1 \text{ cm}^2$ za merenje energetskog spektra X zračenja



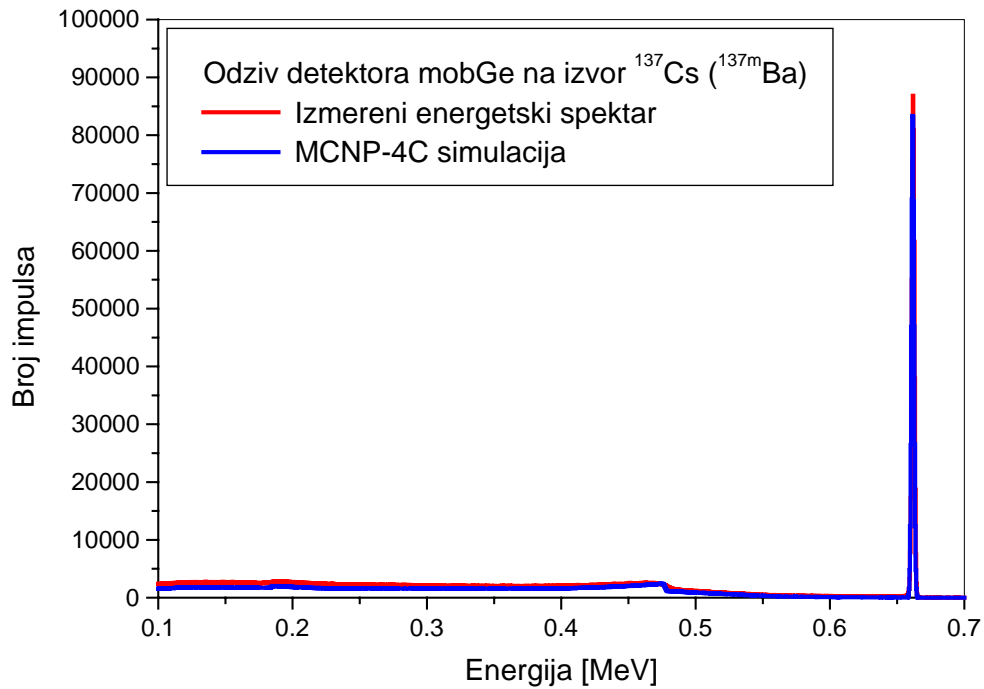
Sl. 8. MCNP-4C geometrijski model koaksijalnog poluprovodničkog detektora (mobGe)



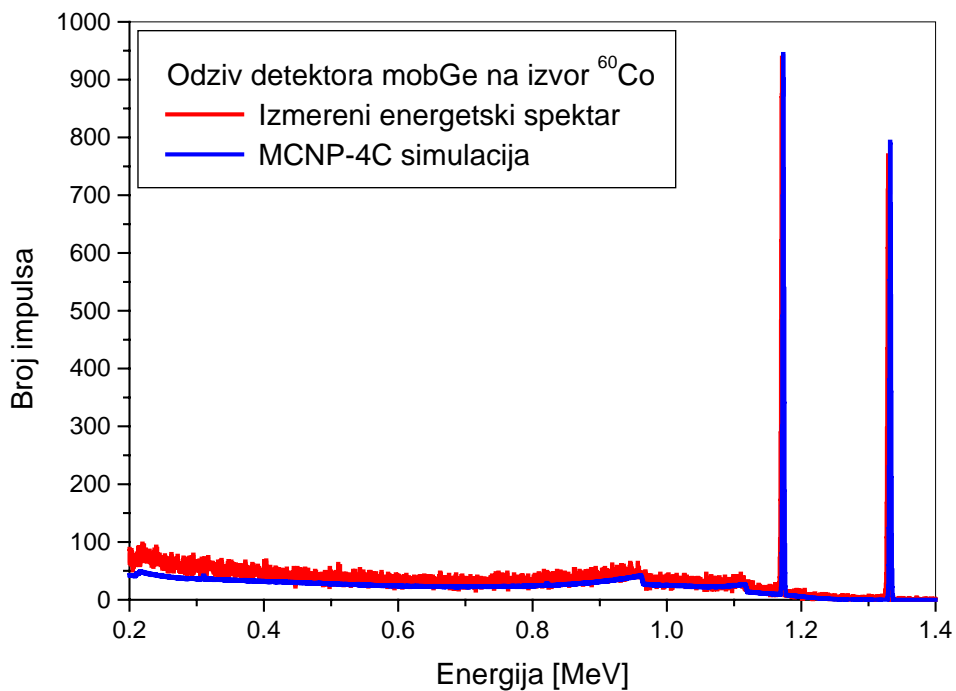
Sl. 9. Horizontalni presek CdZnTe detektora sa usmerenim kolimatorom od folframa



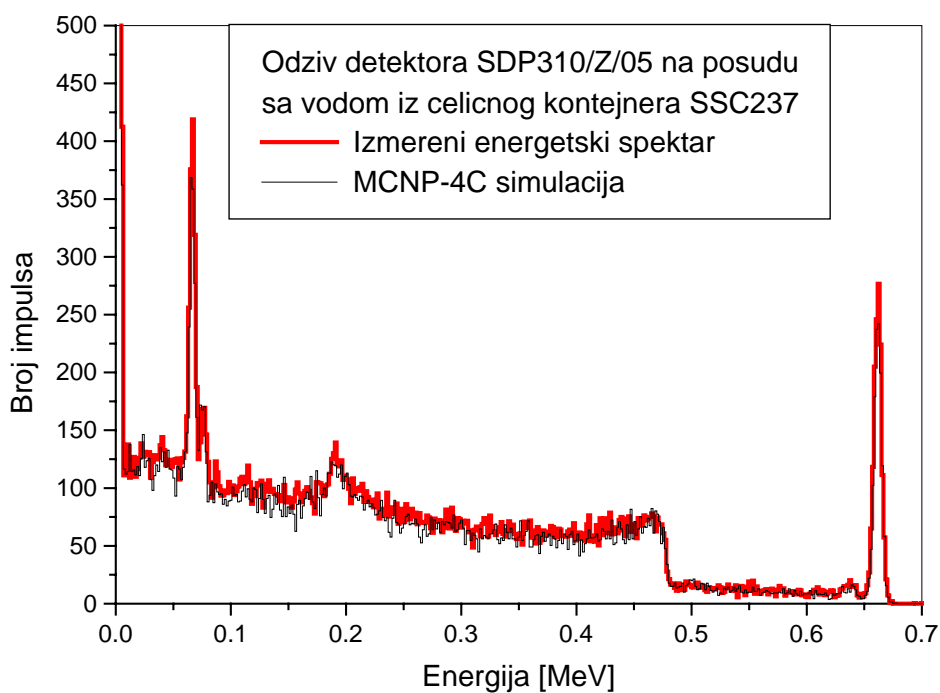
Sl. 10. Poredjenje rezultata merenja i numeričke simulacije odziva mobGe detektora sa usmerenim kolimatorom od olova na standardni laboratorijski izvor sa ^{133}Ba



Sl. 11. Poređenje rezultata merenja i numeričke simulacije odziva mobGe detektora sa usmerenim kolimatorom od olova na standardni laboratorijski izvor sa ^{137}Cs



Sl. 12. Poređenje rezultata merenja i numeričke simulacije odziva mobGe detektora sa usmerenim kolimatorom od olova na standardni laboratorijski izvor sa ^{60}Co



Sl. 13. Poredjenje rezultata merenja i numeričke simulacije odziva CdZnTe detektora sa usmerenim kolimatorom od folframa na posudu sa vodom iz čeličnog kontejnera broj 237

Tabela VI. Voda iz bazena prostorije broj 141 (18. decembar, 2007. godine)

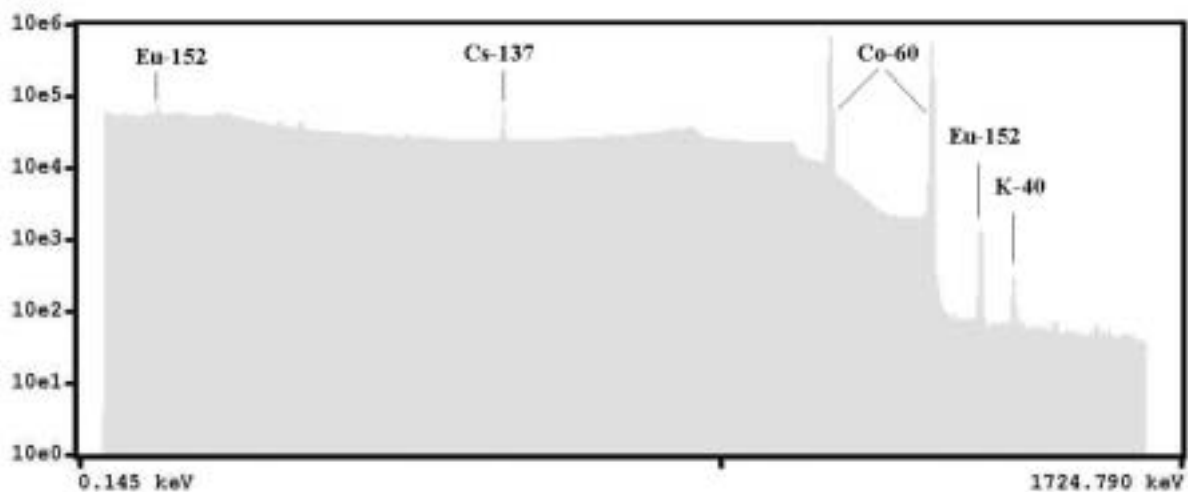
Bazen/Kanal	Aktivnost [Bq·ml ⁻¹]	
	refGe	mobGe
1	114.83 ± 4.67%	116.3 ± 3%
2	115.02 ± 4.68%	118.7 ± 3%
3	112.51 ± 4.57%	118.8 ± 3%
4	115.13 ± 4.68%	121.2 ± 3%
TK-Prostorija 141	114.04 ± 4.64%	119.1 ± 3%
TK-Hala RA	126.54 ± 5.14%	119.5 ± 3%

Tabela VII. Specifična aktivnost vode iz čeličnih kontejnera sa isluženim gorivnim elementima reaktora RA

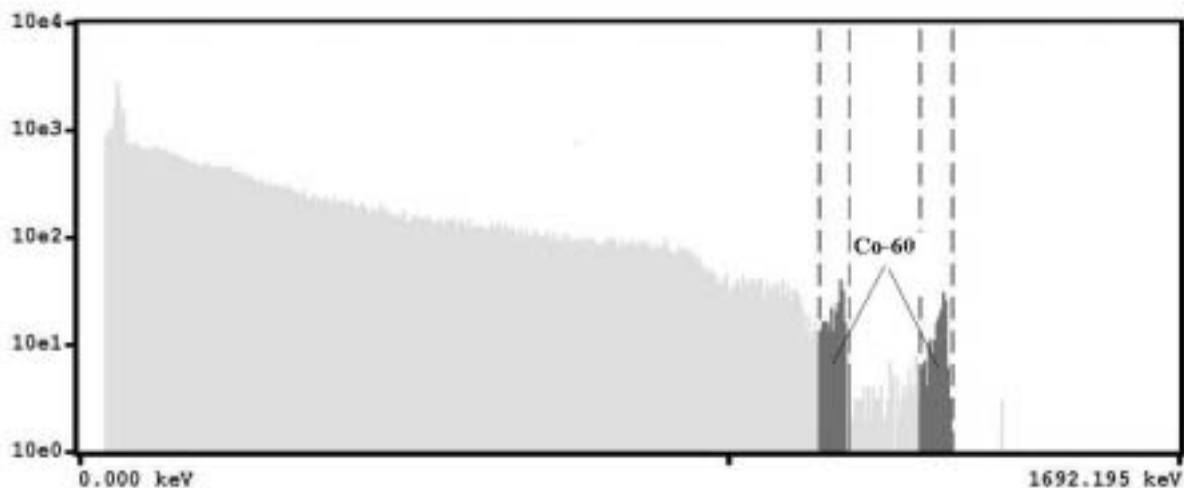
Voda iz kontejnera broj	Aktivnost [Bq. ml ⁻¹]	
	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
3	2.234.10 ³ ± 2%	3.068.10 ² ± 2%
64	2.070.10 ¹ ± 3%	2.490.10 ¹ ± 3%
65	1.950.10 ¹ ± 3%	4.060.10 ¹ ± 3%
71	2.323.10 ² ± 2%	6.681.10 ¹ ± 3%
72	1.022.10 ⁵ ± 2%	3.079.10 ² ± 2%
73	5.328.10 ¹ ± 3%	8.927.10 ¹ ± 2%
76	2.820.10 ¹ ± 3%	7.208.10 ¹ ± 2%
77	8.931.10 ⁵ ± 4%	-
80	2.857.10 ² ± 2%	1.401.10 ² ± 2%
83	5.626.10 ¹ ± 2%	1.620.10 ² ± 2%
87	3.519.10 ³ ± 2%	3.736.10 ² ± 2%
94	1.276.10 ⁵ ± 2%	-
98	1.246.10 ⁴ ± 2%	-
99	1.249.10 ⁵ ± 2%	-
102	1.041.10 ³ ± 2%	2.241.10 ¹ ± 2%
104	6.274.10 ⁵ ± 2%	-
110	7.808.10 ³ ± 2%	-
133	5.170.10 ⁴ ± 2%	1.577.10 ² ± 2%
139	1.105.10 ² ± 2%	7.746.10 ² ± 5%
145	2.706.10 ⁵ ± 2%	-
186	4.527.10 ⁴ ± 2%	2.085.10 ² ± 5%
194	6.421.10 ² ± 2%	2.631.10 ¹ ± 2%
199	4.314.10 ³ ± 2%	-
213	1.525.10 ³ ± 2%	6.185.10 ¹ ± 2%
232	1.114.10 ⁶ ± 3%	-
237	1.625.10 ⁵ ± 3%	-
239	1.310.10 ⁵ ± 3%	-
245	1.322.10 ⁵ ± 3%	-
253	3.408.10 ⁶ ± 3%	-

§13. Osnovna osobina višekanalnog analizatora MCA166 je veoma stabilan rad. Tokom neprekidnog rada koaksijalnog Ge detektora i MCA166 analizatora u IV kvartalu 2007. godine maksimalno "šetanje" pika ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) iznosilo je ± 1 kanal, odnosno ± 0.4 keV. I poluprovodnički detektor sa kristalom CdZnTe karakteriše stabilan rad. Za razliku od njih, scintilacioni detektor NaI karakteriše izraženo šetanje pikova ^{137}Cs i ^{60}Co . Zbog potrebe merenja niskih aktivnosti, koja zahtevaju dugotrajna merenja na dobro stabilnim detektorima, za detektore tipa NaI je ovladano korišćenje opcije stabilizacije izabranog pika. Pokazalo se da detektori Centra-150 tipa NaI mogu da rade veoma stabilno samo ukoliko se uvede stabilizacija pika onog nuklida čija osnovna linija dominira (po površini pika) u polju zračenja čiji se energetski spektar meri. U nastavku priloga, u primerima u kojima je korišćen detektor NaI, primenjena je stabilizacija pika na opisani način.

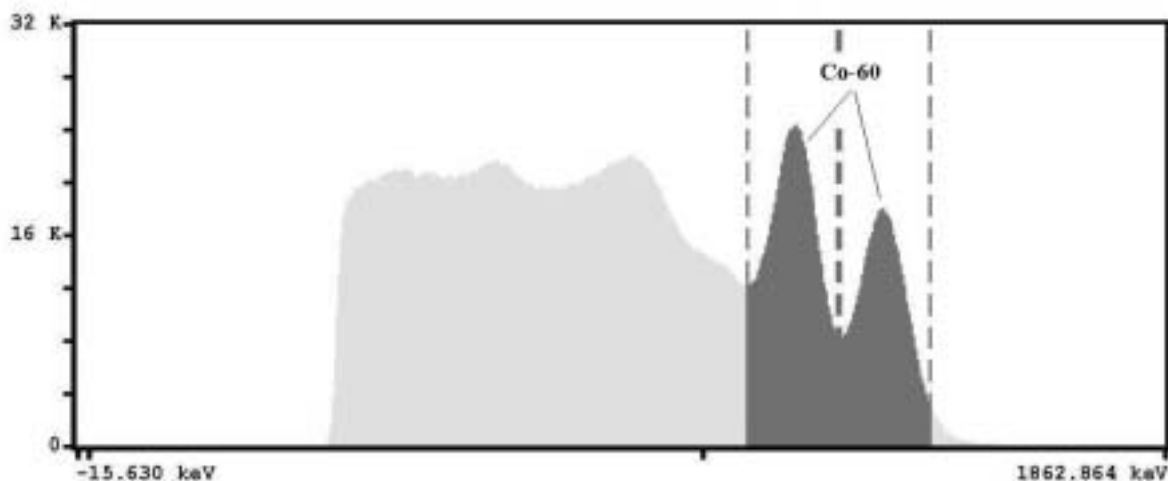
Rezultati prikazani na slikama 14a, 14b i 14c pokazuju da poluprovodnički detektor sa kristalom CdZnTe i scintilacioni detektor NaI omogućavaju utvrđivanje prisustva samo dominirajućeg nuklida, dok koaksijalni Ge detektor (mobGe) omogućava identifikaciju i kvantitativno određivanje aktivnosti svih prisutnih nuklida.



Sl. 14a. Energetski spektar gama zračenja parčeta regulatora protoka teške vode dobijen pomoću pokretnog koaksijalnog Ge detektora (Lin-Log)

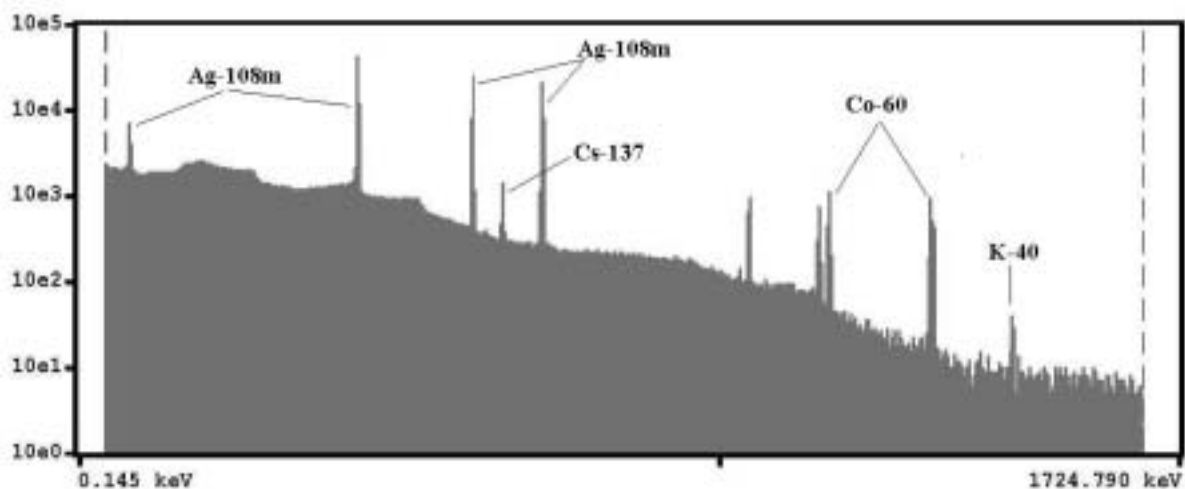


Sl. 14b. Energetski spektar gama zračenja parčeta regulatora protoka teške vode dobijen pomoću pokretnog poluprovodničkog detektora sa kristalom CdZnTe (Lin-Log)

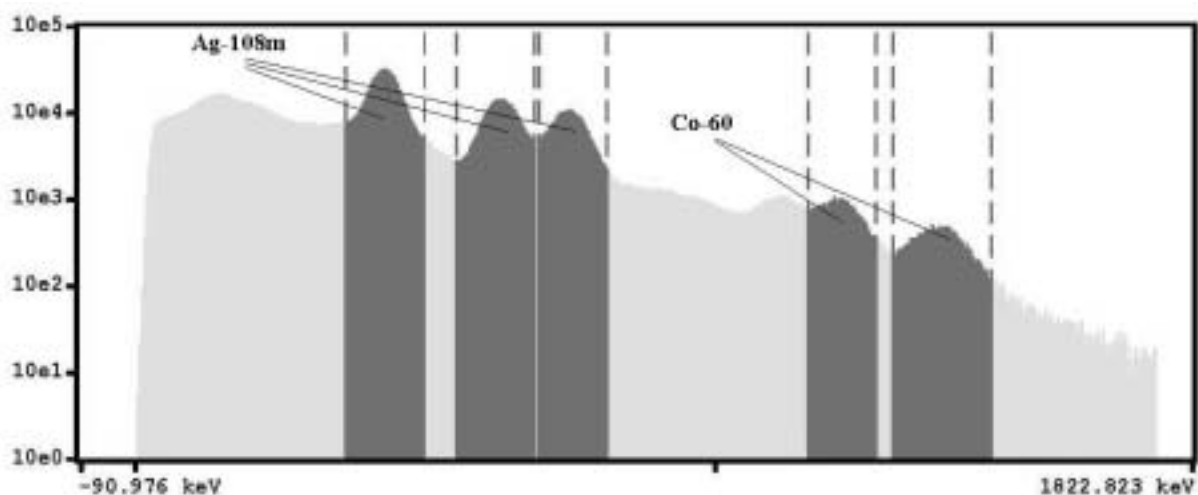


Sl. 14c. Energetski spektar gama zračenja parčeta regulatora protoka teške vode dobijen pomoću pokretnog scintilacionog detektora NaI (Lin-Lin)

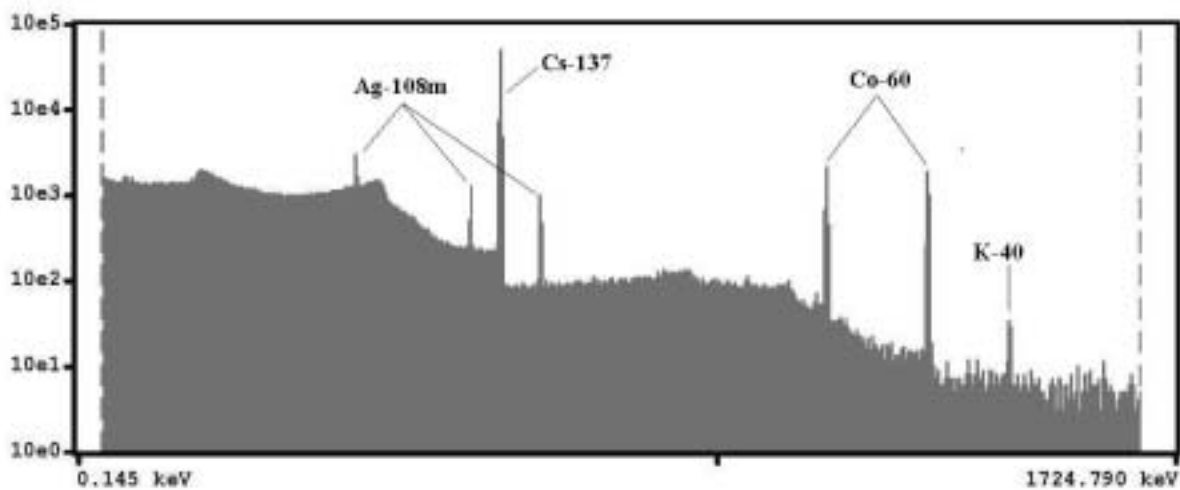
Rezultati merenja energetskog spektra gama zračenja briseva broj 4 i 5 (vata blago natopljena alkoholom), uzetih u prostoriji iznad tehnoloških kanala okruženoj vodenom zaštitom prikazani na slikama 15a, 15b, 16a i 16b pokazuju da scintilacioni detektor NaI omogućava utvrđivanje prisustva samo dominirajućeg nuklida (srebra ^{108m}Ag na brisu broj 4 i ^{137}Cs (^{137m}Ba) na brisu broj 5), dok koaksijalni Ge detektor (mobGe) omogućava identifikaciju i kvantitativno određivanje aktivnosti svih prisutnih nuklida.



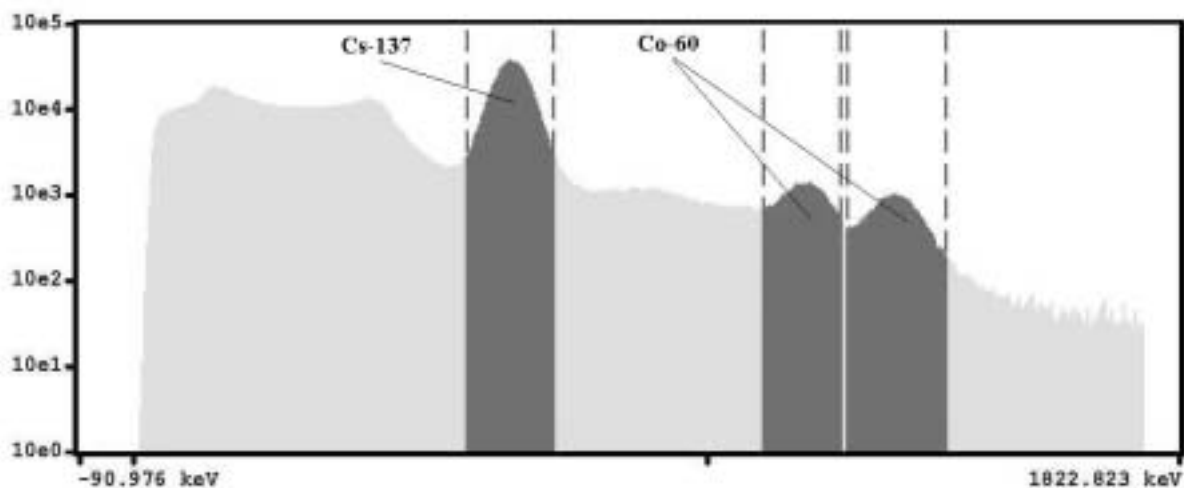
Sl. 15a. Energetski spektar gama zračenja brisa broj 4 iz prostorije pod vodenom zaštitom dobijen pomoću pokretnog koaksijalnog Ge detektora (Lin-Log)



Sl. 15b. Energetski spektar gama zračenja brisa broj 4 iz prostorije pod vodenom zaštitom dobijen pomoću pokretnog scintilacionog detektora tipa NaI (Lin-Log)



Sl. 16a. Energetski spektar gama zračenja brisa broj 5 iz prostorije pod vodenom zaštitom dobijen pomoću pokretnog koaksijalnog Ge detektora (Lin-Log)



Sl. 16b. Energetski spektar gama zračenja brisa broj 5 iz prostorije pod vodenom zaštitom dobijen pomoću pokretnog scintilacionog detektora tipa NaI (Lin-Log)

REFERENCE

- [1] M.J. Milošević, "Measurements of Fuel Burnup for the RA Reactor Spent Fuel Elements Stored in the Stainless Steel Containers," The IAEA-TC Contract No. SCG/4/003-87013A Progress Report for Milestone 1, Revision 1, Vinča-NTI-138, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, January 2007, pp.1-48.
- [2] M.J. Milošević, "Comparison of Calculation Results for Gamma Ray and Neutron Dose Rates in the Vicinity of the TUK-19 Container with the RA Reactor Spent Fuel Elements," Intra-Institute Memo, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, February 2007, pp.1-14.
- [3] M.J. Milošević, "Summary of Activity Measurement with Coaxial Ge Detector," Intra-Institute Memo, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, December 2007, pp.1-17.