

UPRAVLJANJE OTPADOM PRILIKOM DEKOMISIJE ISTRAŽIVAČKOG REAKTORA RA¹

Milenko Marković, Ivana Avramović, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Centar NTI, milenko@vin.bg.ac.yu

Sadržaj – Cilj upravljanja radioaktivnim otpadom je da se obezbedi adekvatno rukovanje otpadom na taj način da u potpunosti bude zaštićeno zdravlje ljudi i životna sredina kako u sadašnjem trenutku tako i u budućnosti. Mogućnost da se realno procene vrste i količine otpada koji će nastati prilikom dekomisije su od izuzetnog značaja za uspešno izvođenje ovog projekta.

1. UVOD

Reaktor RA u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" počeo je sa radom 1959. godine. Iz tehničkih razloga reaktor je privremeno zaustavljen 1984. godine i od tada nije bio u pogonu. Odluka da se pristupi dekomisiji postrojenja doneta je 2002. godine. Aktivnosti koje se planiraju na ovom projektu će početi da se obavljaju kada bude završeno prepakivanje i transport ozračenog nuklearnog goriva iz privremenog skladišta koje se nalazi u zgradi reaktora. Planirano je da gorivo bude transportovano u Rusiju na dalju obradu do kraja 2010. Otpad koji će biti stvoren tokom dekomisije je drugačije prirode od onog koji nastajao dok je reaktor radio. Cilj upravljanja radioaktivnim otpadom je da se obezbedi rukovanje otpadom na taj način da u potpunosti bude zaštićeno zdravlje ljudi i životna sredina kako u sadašnjem trenutku tako i u budućnosti. U cilju adekvatnog planiranja urađen je dokument "Waste Management Plan for the RA Reactor Decommissioning" koji predstavlja poglavlje plana dekomisije reaktora RA.

2. OPIS POSTROJENJA

Reaktor RA je teškovodni istraživački reaktor termalne snage 6.5 MW. Reaktor je proizveden u nekadašnjem SSSR-u. Celokupno postrojenje se sastoji iz glavnog dela i pomoćnih sistema. Glavni deo postrojenja sačinjavaju zgrada reaktora i zgrada ventilacionog centra. Zgrada reaktora ima četiri nivoa i u njoj se nalazi reaktorsko postrojenje sa svim potrebnim upravljačko-sigurnosnim sistemima, skladište ozračenog nuklearnog goriva i vruće komore. Pomoćne sisteme sačinjavaju pumpna stanica na obali Dunava, rezervoar u selu Vinča i tri podzemna skladišta za tečni radioaktivni otpad [1]. Projektom dekomisije su obuhvaćeni zgrada reaktora sa svim postrojenjima, vruće komore i ventilacioni centar.

3. PLANIRANE AKTIVNOSTI

Upravljanje radioaktivnim otpadom prilikom dekomisije reaktora RA obuhvata otpad koji nastaje prilikom karakterizacije postrojenja reaktora RA, dekontaminacije i u samom procesu demontaže sistema.

Predviđeno je da implementacija plana dekomisije i demontaža sistema započnu nakon prepakivanja i transporta ozračenog nuklearnog goriva koje se trenutno nalazi u skladištu na reaktoru RA.

4. VRSTE OTPADA

Otpad koji nastaje prilikom dekomisije se može podeliti u nekoliko glavnih grupa:

- radioaktivni otpad,
- opasni i toksični otpad,
- mešani otpad,
- druge vrste otpada koji nije opasan,
- materijal koji može da se reciklira i
- čist materijal.

5. RADIOAKTIVNI OTPAD

Radiološka karakterizacija još uvek nije kompletno završena ali znajući hemijski sastav materijala od kojih je napravljen reaktor moguće je pretpostaviti koji su radionuklidi prisutni u sistemu kao posledica neutronske aktivacije i curenja gorivnih elemenata [2]. Najvažniji radionuklidi su svakako ⁶⁰Co koji je prisutan u skoro svim čeličnim komponentama i betonu kao i ¹³⁷Cs koga najviše ima u bazenu sa ozračenim nuklearnim gorivom i u primarnom sistemu za hlađenje.

Poredeći iskustva dobijena sa sličnih reaktora i imajući u vidu grubu procenu o otpadu prilikom dekomisije, procenjeno je da ukupna količina radioaktivnog otpada ne bi trebalo da pređe 2000 m³. Zbog male apsorpcije neutrona u teškoj vodi, aktivacija struktura oko jezgra je veća u odnosu na lakovodne reaktore. Postoje dokumentovani primeri gde neutronske indukovane aktivnosti prevazilazi aktivnost u ozračenom gorivu (reaktor CP-5) [3]. Aktivnost u ozračenom gorivu reaktora RA iznosi oko 4000 TBq [4]. Radioaktivni otpad se generalno može podeliti na čvrsti i tečni otpad.

5.1. Čvrsti radioaktivni otpad

Najveći deo radioaktivnog otpada na reaktoru predstavlja čvrsti otpad. U ovu kategoriju spadaju reaktorski sud, pesak, teški beton, kontaminirana eksperimentalna oprema, parafinski blokovi, betonske cigle, drvo, pumpe (aktivirane i kontaminirane sa ⁶⁰Co), izmenjivači toplote i rezervoar teške vode, ventilacioni sistem i sve komponente ovog sistema, delovi helijumskog sistema kao i tunel između reaktora RA i ventilacionog centra. Na dnu bazena sa iskorišćenim nuklearnim gorivom nalazi se značajna količina taloga koji takođe spada u ovu kategoriju.

Čvrsti radioaktivni otpad će biti sakupljen, razvrstan, po potrebi isečen u manje delove i spakovan u standardne kontejnere koji se šalju u privremeno skladište radioaktivnog otpadnog materijala u Institutu "Vinča". Za pakovanje radioaktivnog otpada koriste se standardna metalna burad zapremine 200 l i eventualno ISO kontejneri za komponente velikih dimenzija.

Razvrstavanje čvrstog radioaktivnog otpada obaviće se na osnovu fizičko-hemijskih osobina materijala (mogućnost presovanja i spaljivanja) i prisutnih radionuklida.

¹ Rad na dekomisiji reaktora RA obavlja se u okviru projekta VIND koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije.

5.1. Tečni radioaktivni otpad

U tečni radioaktivni otpad spadaju voda iz bazena sa iskorišćenim nuklearnim gorivom ukupne zapremine od oko 170 m³ kontaminirana izotopom ¹³⁷Cs i potencijalno kontaminirana voda iz biološkog štita reaktora. Predviđeno je da ova tečnost bude tretirana korišćenjem uređaja *Aqua-express* koji koristi proces hemijske precipitacije [5]. Kao rezultat ovog procesa dobija se radioaktivni sorbent koji će biti imobilisan u cementnu matricu.

U tečni radioaktivni otpad spada i mulj nataložen na dnu i zidovima bazena sa isluženim nuklearnim gorivom i transportnim kanalima. Planirano je da se tretman ovog mulja obavi imobilizacijom u cementnu matricu.

Kao kontejner za imobilizaciju tečnog otpada korišće se standardna metalna burad zamremine 200 l.

6. OPASNI I TOKSIČNI OTPAD

Opasan otpad pretstavlja onaj materijal koji zbog svoje količine, koncentracije i/ili fizičkih, hemijskih i bioloških osobina može da izazove značajne posledice po ljudsko zdravlje i okolinu ukoliko se sa njim nepropisno rukuje ili se tretira i skladišti na neadekvatan način [6].

Toksični otpad je materijal koji sadrži izvesne supstance za koje je ustanovljeno da i u malim koncentracijama mogu uzrokovati ljudsko zdravlje.

U toku dekomisije neminovno će nastati neradioaktivan opasan otpad mahom u vidu rastvarača, agenasa za čišćenje i ulja iz dizel generatora. Ovaj otpad će biti posebno tretiran u skladu sa važećom zakonskom regulativom.

7. MEŠANI OTPAD

Sve vrste materijala koji nastaju prilikom dekomisije, uključujući i opasan i toksični otpad, mogu biti aktivirani ili kontaminirani. Pri njihovoj obradi i skladištenju moramo imati u vidu opasnosti kako radiološke tako i ne-radiološke prirode. U ovu vrstu materijala spadaju kadmijum, olovo, grafit i azbest.

7.1. Kadmijum

Na reaktoru RA postoji 13 kadmijumskih šipki koje su korišćene u upravljačkim i sigurnosnim sistemima.

Glavnu opasnost po zdravlje predstavlja udisanje kadmijuma ili njegovih oksida. Naslage kadmijumoksida sporo prolaze u krvotok i on se uglavnom nagomilava u bubrezima i jetri. Kadmijumova jedinjenja su kancerogena.

Kadmijum izložen fluksu neutrona sadrži nekoliko radionuklida, od značaja su ¹⁰⁹Cd, ^{109m}Ag, ¹⁰⁹Ag, ¹¹³Cd. Takođe nečistoće u kadmijumu mogu da dovedu i do nastanka ⁶⁰Co i nekih aktinida.

Prilikom dekomisije, treba izbeći izlaganje radnika od strane kadmijumovim jedinjenjima. Kadmijumske šipke ne treba mehanički obrađivati sem u slučaju da je to neophodno. Poželjno je da se ovaj materijal ostavi u oblozi od aluminijuma ili nerđajućeg čelika.

7.2. Olovo

Najveća količina olova koja se nalazi na reaktoru RA je u obliku cigli. Na većini predmeta od olova prisutna je kontaminacija.

Efekti na ljudsko zdravlje u slučaju izloženosti olovu su različiti u zavisnosti u kom jedinjenju se supstanca nalazi i

kako se ugrađuje u telo [6]. Olovo ugrožava centralni nervni sistem, krv i bubrege. Ozbiljni slučajevi trovanja olovom su najčešće rezultat kumulativne izloženosti. Kada uđe u telo čoveka, olovo se krvotokom prenosi do mekih tkiva a posle nekoliko nedelja ulazi u kosti i zube.

Prilikom dekomisije treba sprovesti mere koje imaju za cilj da onemoguće udisanje olovne prašine. Neophodno je kontrolisati koncentracije olova u vazduhu i održavati takav režim rada da izloženost radnika bude na najmanjem mogućem nivou, bez obzira da li se koristi respiratorna zaštita.

Postoji mogućnost dekontaminacije olova mada je to zahtevan proces. Ukoliko se ne vrši dekontaminacija, olovo se odlaže kao radioaktivni otpad, najčešće putem ugradnje u cementnu matricu.

7.3. Azbest

Na reaktoru RA postoji oko 3 m³ azbesta u obliku ploča debljine 8 mm koje se koriste za zaštitu energetskih kablova.

Azbest je mineral koji se javlja u prirodi, sačinjen od silikata i elemenata kao što su Al, Na, Mg, Ca i K [6]. Minerali azbesta su sačinjeni od dugih tankih vlakana. Od 1980 u mnogim zemljama je ograničena upotreba azbesta.

Azbest je najopasniji kada se vlakna nađu u vazduhu i dođe do njihovog udisanja. Zbog svojih dimenzija, azbestna vlakana ostaju u vazduhu u dužem vremenskom periodu. Vlakna dužine 5–8 μm i prečnika 1.5 μm su najopasnija po zdravlje. Kada uđu u telo vlakna se ugrađuju u tkiva respiratornog i probavnog sistema izazivajući rak pluća, azbestozu i mnoge druge fatalne bolesti.

Za posao vezan za uklanjanje azbesta najbolje je angažovati specijalizovane kompanije i iskusni stručni kadar.

7.4. Grafit

Unutrašnji sud reaktora RA obložene je sa oko 12-15 m³ grafita [1].

Radioaktivni grafit koji potiče iz nuklearnih postrojenja razlikuje se od drugog radioaktivnog otpada zbog svojih fizičkih i hemijskih osobina [7]. Posle ozračivanja grafitni otpad sadrži značajan broj dugoživećih izotopa poput ¹⁴C i ³⁶Cl. Udisanje grafitne prašine dovodi do bolesti disajnih organa pa treba posvetiti posebnu pažnju prilikom njegovog uklanjanja i izbeći sečenje kada je to moguće.

Posle intenzivnog ozračivanja grafit zadržava mehanička svojstva, nije rastvorljiv i hemijski aktivan. Zbog ovih osobina, nije potrebno vršiti poseban tretman ovog otpada osim pakovanja u odgovarajuće kontejnere.

8. OBIČAN OTPAD

Velika količina otpadnog materijala koja će nastati tokom dekomisije reaktora ima vrlo nizak sadržaj radionuklida. Kako kod nas postoje granice za radijacionu čistoću materijala samo za neograničenu upotrebu, za potrebe dekomisije neophodno je razmotriti usvajanje regulative koja će dati jasniju definiciju nivoa za različite namene (reciklaža, namensko korišćenje, ograničena upotreba). Ovo je jedan od osnovnih zadataka za buduće Regulatorno telo koje još uvek nije ustanovljeno u Srbiji.

Očekuje se da najveća količina strukturnih materijala u reaktorskoj zgradi nije kontaminirana i da će moći da bude uklonjena kao običan otpad. Pored toga, sistem za sekundarno hlađenje i pojedina oprema koja se nalazi u

reaktorskoj zgradi a nikada nije korišćena mogu se tretirati kao čisti.

9. SAKUPLJANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Prilikom dekomisije reaktorskog postrojenja čvrsti radioaktivni otpad će biti sakupljan u standardnu metalnu burad zapremine 200 l. Za otpad nestandardnih dimenzija i oblika koji nije moguće iseći na licu mesta predviđa se upotreba ISO kontejnera. Za manje količine tečnog otpada koriste se plastični kontejneri zapremine do 50 l.

U toku sakupljanja radioaktivnog otpada mora se voditi računa o minimizaciji količina i segregaciji – razvrstavanju otpada.

9.1. Minimizacija otpada

Pod minimizacijom otpada podrazumeva se bilo koja aktivnost, metoda ili tehnika koja dovodi do smanjivanja ukupne količine otpada koja se stvara prilikom procesa dekomisije[8]. Minimizacija otpada može se podeliti u tri kategorije:

- tehnike kojima se kontroliše stvaranje otpada,
- tehnike kojima se vrši čišćenje ili dekontaminacija i
- tehnike kojima se vrši smanjenje zapremine.

Metode minimizacije otpada moraju se primenjivati uvek kada je to moguće vodeći računa da se ne ugrozi ukupna sigurnost ili izazove šteta po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

9.2. Segregacija materijala

Da bi se obezbedilo odgovarajuće rukovanje, tretman i skladištenje radioaktivnog otpada neophodno je izvršiti njegovu segregaciju-razvrstavanje ne mestu gde nastaje. Segregacija se vrši prema hemijskim, fizičkim, biološkim i radiološkim karakteristikama [8]. Cilj segregacije otpada je:

- izdvajanje neradioaktivnog materijala i komponenata,
- klasifikacija otpada na odgovarajuće kategorije i
- izdvajanje materijala koji mogu da se recikliraju ili ponovo upotrebe.

10. UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM

Prvi korak u upravljanju radioaktivnim otpadom je njegovo sakupljanje, karakterizacija i segregacija. Prilikom sakupljanja otpada treba povesti računa da ne dođe do mešanja različitih vrsta otpada. Radiološka karakterizacija se koristi za određivanje prisustva i količine radionuklida u otpadu. Karakterizacija treba da posluži kao osnova za odlučivanje o neophodnim koracima za dalji tretman otpada i započinje razmatranjem postojećih podataka, uzimanjem uzoraka i sveobuhvatnom analizom. Metode koje se koriste prilikom karakterizacije su direktna merenja i računsko modeliranje [9]. Posle završene karakterizacije, radioaktivni otpad mora da bude sortirani prema vrsti, stepenu kontaminacije i fizičko-hemijskim parametrima kao i različitim postupcima tretmana.

Tretman radioaktivnog otpada podrazumeva smanjenje zapremine, uklanjanje radionuklida i promenu sastava. Primeri takvih operacija su presovanje materijala, filtracija, isparavanje i hemijska precipitacija. Obično se više ovih procesa koriste u kombinaciji.

Radioaktivni otpad koji će nastati prilikom dekomisije reaktora RA će biti uskladišten u hangaru H3 u Institutu "Vinča" koji će biti izgrađen tokom 2008 godine. U

Republici Srbiji ne postoje planovi za trajno odlaganje radioaktivnog otpada.

11. ZAKLJUČAK

Cilj upravljanja radioaktivnim otpadom je rad sa radioaktivnim otpadom na način koji obezbeđuje zaštitu ljudskog zdravlja i okoline. U ovom procesu se mora voditi računa i o nasleđu koje ćemo ostaviti budućim generacijama. Adekvatna karakterizacija reaktorskog postrojenja i mogućnost da se realno procene vrste i količine otpada koji će nastati prilikom dekomisije su od izuzetnog značaja za uspešno izvođenje ovog projekta.

LITERATURA

- [1] RA Research Reactor Decommissioning Plan, Chapter 2, *Facility Description*, Institute VINČA, Center NTI, Belgrade, 2007.
- [2] RA Reactor Decommissioning Plan, Chapter 7, *Waste Management Plan for the RA Reactor Decommissioning*, Institute VINČA, Center NTI, Belgrade, 2007.
- [3] Decommissioning Techniques for Research Reactors, Technical Reports Series 373, IAEA, Vienna 1994
- [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," IAEA TC contract No. SCG/4/003-89102A, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Report Vinča-NTI-137, Vinča, October 2005 (Revision 1, June 2007), pp.1-105.
- [5] Strategija upravljanja radioaktivnim otpadom, Ver. 0.8, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija "Zaštita", Beograd, jun 2006.
- [6] IAEA-TRS-441, *Management of Problematic Waste and Material Generated During the Decommissioning of Nuclear Facilities*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006
- [7] IAEA-TECDOC-1521, *Characterization, Treatment and Conditioning of Radioactive Graphite from Decommissioning of Nuclear Reactors*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006
- [8] IAEA-TECDOC-652, *Minimization and segregation of radioactive wastes*, International Atomic Energy Agency, Vienna, July 1992.
- [9] Initial Planning for the Decommissioning of the RA Research Reactor - Radiological Characterization Plan, Vinča Institute, Centre NTI, Belgrade, 2003

Abstract – The objective of radioactive waste management during the RA reactor decommissioning is to deal with radioactive waste in a manner that protects human health and the environment now and in the future. The estimation of waste quantities to be expected during decommissioning is very important step in the initial planning.

WASTE MANAGEMENT DURING RA REACTOR DECOMMISSIONING

Milenko Marković and Ivana Avramović