

Pregledni rad
Review paper
UDC: 621.039.76:614.876

OBRADA I MODEL KONAČNOG ZBRINJAVANJA RADIOAKTIVNOG OTPADA

Almir Šabović¹, Jasmin Isabegović¹, Azra Okić¹

¹*Rudarski institut d.d. Tuzla, E.mail: rituzla2@bih.net.ba*

REZIME

U zavisnosti od klase radioaktivnog otpada primjenjuju se različiti modeli prethodne obrade radioaktivnog otpada do konačnog odlaganja. U radu je data osnovna klasifikacija radioaktivnog otpada te osnovne faze prethodne obrade kao i modeli konačnog odlaganja radioaktivnog otpada. Takođe, dat je način konačnog odlaganja radioaktivnog otpada koji nastaje u medicini, vojnoj industriji, nuklearnim elektranama.

Ključne riječi: *radioaktivni otpad, faze obrade, skladištenje, duboko odlaganje radioaktivnog otpada*

TREATMENT AND MODEL OF FINAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

ABSTRACT

Depending on the classes of radioactive waste different models of previous treatment are applied prior to final disposal. This paper presents the basic classification of radioactive waste and the basic stages of pretreatment as well as models of final disposal of radioactive waste. Also, this paper gives a models of final disposal of radioactive waste that produced in medicine, military industry, nuclear power plants.

Key words: *the radioactive waste, stages of processing, storage, the deep disposal of radioactive waste*

UVOD

U razvoju strategije odlaganja radioaktivnog otpad u tlu, poluživot radionuklida je glavni pokazatelj za odabir načina na koji će se obaviti odlaganje. Otpad s kratkoživućim radionuklidima ugrožava ljudsko zdravlje, ali se ta opasnost nakon određenog vremena smanjuje. Međutim, to vrijeme može biti i nekoliko stotina godina, te se svi načini odlaganja za kratkoživući otpad oslanjaju na institucionalni nadzor odlagališta.

Dugoživući radioaktivni otpad, s dugim poluživotom, kao što je istrošeno nuklearno gorivo, opasan je i nakon više hiljada godina. Najsigurniji način zbrinjavanja radioaktivnog otpada jeste u komorama, duboko u čvrstim stijenskim masama uz poštivanje propisanih sigurnosnih mjera i pomoću bušotina velikog promjera.

RADIOAKTIVNI OTPAD

Radioaktivni otpad podrazumijeva materijale koji nisu predviđeni za dalje korištenje, a koji sadrže radioaktivne izotope takvih specifičnih aktivnosti koje premašuju granične vrijednosti propisane pripadajućom zakonskom regulativom. Klasifikacija radioaktivnog otpada prema specifičnoj radioaktivnosti pomaže u cjelokupnom procesu njegovog zbrinjavanja. Radioaktivni otpad je razvrstan u nekoliko klasa na osnovu kvalitativnog opisa i približnih brojnih vrijednosti za njihovo razgraničenje. Prema verziji klasifikacije iz 1970. godine, radioaktivni se otpad razvrstavao u tri osnovne klase: nisko radioaktivni otpad, srednje radioaktivni otpad i visoko radioaktivni otpad - uz dodatno razlučivanje kratkovječnog, dugovječnog i alfa otpada u prve dvije klase.

Nisko radioaktivni otpad bio je definisan kao radioaktivni otpad tako niske aktivnosti da kod rukovanja i prevoza nije potrebna dodatna fizička zaštita od zračenja. Srednje radioaktivni otpad imao je takvu aktivnost da se paketi s otpadom moraju izolovati dodatnim fizičkim štitom prilikom rukovanja i prevoza, ali radioaktivnost mu nije tolika da bi trebalo osigurati i hlađenje otpada. Visoko radioaktivni otpad prvenstveno podrazumijeva istrošeno nuklearno gorivo, ako se deklarira kao otpad ili otpad slične aktivnosti koji preostaje nakon recikliranja goriva, ali i svaki drugi otpad čija je radioaktivnost tako velika da razvija znatnu količinu toplote.

Novom klasifikacijom iz 1994. godine (tabela 1) uvedena je klasa izuzetog otpada, a klase nisko radioaktivnog i srednje radioaktivnog otpada spojene su u jednu klasu, u okviru koje se razlikuju dugovječni i kratkovječni otpad. Kod visoko radioaktivnog otpada nema znatnijih izmjena. Nova klasifikacija predlaže se samo kao okvirna podjela (za otpad u čvrstom stanju), uz ponavljano isticanje potrebe da se u svakoj konkretnoj situaciji procijene sva svojstva otpada. Izuzeti otpad određuje se na osnovu tzv. nivoa oslobađanja za pojedine radionuklide u čvrstim materijalima.

Tabela 1. Klasifikacija radioaktivnog otpada iz 1994. g.
Table 1. Classification of radioactive waste in 1994.

Klase radioaktivnog otpada	Karakteristike	Odlaganje
1. Izuzeti otpad	Aktivnosti ne prelaze nivo oslobađanja (koje se baziraju na ograničenju godišnje doze ispod 0.01 mSv za osobe u stanovništvu)	Bez radioloških ograničenja
2. Nisko i srednje radioaktivni otpad	Aktivnosti iznad nivoa oslobađanja i toplotna snaga ispod 2kW/m ³	Odlaganje blizu površine ili u duboko geološko odlagalište
2.1. Kratkovječni otpad	Ograničena koncentracija dugovječnih radionuklida (ograničenje za dugovječne alfa emitere iznosi 4000 Bq/g za pojedinačne pakete i 400 Bq/g za prosječni iznos u svim paketima)	
2.2. Dugovječni otpad	Koncentracija dugovječnih radionuklida prelaze navedena ograničenja za kratkovječni otpad	
3. Visoko radioaktivni otpad	Toplotna snaga iznad 2 kW/m ³ i koncentracija dugovječnih radionuklida iznad ograničenja za kratkovječni otpad	Duboko geološko odlagalište

SKLADIŠTENJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Pojam „skladištenje“ podrazumijeva privremeno čuvanje radioaktivnog otpada pri čemu je osigurana zaštita okoliša. Dakle, određeni radioaktivni otpad se ne odlaže odmah, nego se neko vrijeme čuva, tj. privremeno odlaže (skladišti) i to zbog toga što se radioaktivnost vremenom smanjuje, pa je transport i rukovanje lakše i sigurnije. Primjer za to je istrošeno reaktorsko gorivo kojem se radioaktivnost nakon nekog vremena poslije vađenja višestruko smanji. Dva su načina privremenog odlaganja, tj. skladištenja visoko radioaktivnog otpada, i to:

- mokro skladištenje i
- suho skladištenje

Mokro skladištenje

Najrašireniji način privremenog odlaganja je držanje iskorištenih elemenata u bazenu s vodom u krugu nuklearne elektrane. Osnovni uslov za ovakav način skladištenja je da u svakom trenutku mora biti mjesta za ispuštanje, tj. pražnjenje cijelog reaktora u slučaju vanrednih situacija. Nakon iskorištenja u nuklearnom reaktoru dio gorivih elemenata se za vrijeme remonta elektrane vadi iz jezgra reaktora i odlaže u bazen za istrošeno gorivo. Nakon vađenja iz nuklearnog reaktora istrošeno gorivo još uvijek generiše toplotnu energiju i izuzetno je radioaktivno. Zato je njegovo hlađenje u bazenu jedan od osnovnih tehnoloških zahtjeva koji se postavljaju unutar postupaka gorivom u nuklearnoj elektrani. Bazen za istrošeno gorivo sastavni je dio tehnološkog sistema.

U zavisnosti od konstrukcije elektrane bazen se nalazi unutar, odnosno van zgrade za rukovanje gorivom. Vanjski bazeni imaju veći kapacitet, pa se u njih može smjestiti više istrošenih gorivih elemenata. Borirana voda koja se nalazi u bazenu ima višestruku namjenu, tj. da štiti od intenzivnog zračenja, a zatim i kao sredstvo za hlađenje i kao medij za apsorpciju neutrona iz zaostale fisije. Dubine bazena su uglavnom 12 do 15 metara.

Postupak izmjene gorivih elemenata mora se odvijati na dubini od 7 metara u cilju sprečavanja ionizirajućeg zračenja izvan bazena. Zidovi i dno bazena moraju biti obloženi nehrđajućim čelikom zbog sprečavanja korozije. Sistem za hlađenje i čišćenje bazena mora učinkovito uklanjati toplotu generisanu u istrošenom gorivu, te održati odgovarajuću bistrinu i hemijsku čistoću vode. Istrošeni gorivi elementi koji su u bazenu proveli dovoljno dugo vremena, tj. najmanje 5 godina, mogu se vaditi iz bazena i podvrgnuti drugim postupcima kao što su suho skladištenje, prerada ili trajno odlaganje. U tabeli 2 prikazani su tehnički kriteriji za ocjenu prihvatljivosti povećanja kapaciteta bazena.

Tabela 2. Tehnički kriteriji za ocjenu prihvatljivosti povećanja kapaciteta bazena
Table 2. Technical criteria for the assessment of the capacity increase the pool

KRITERIJ	KOMENTAR
1. Dugoročni integritet modula	Dugoročni integritet modula je zagarantovan time što su odabrani materijali i tehnologija izrade koristi se više od 40 g.
2. Dinamička stabilnost	Provedene analize trebaju pokazati da su moduli dinamički stabilni i za vrijeme najvećeg pretpostavljenog potresa.
3. Rashladni sistem bazena	Detaljnim analizama treba pokazati da je kapacitet rashladnog sistema bazena dovoljan i za povećano skladištenje.
4. Kritičnost bazena	Novi moduli trebaju biti projektovani tako da je osigurana potkrićnost bazena za maksimalno dozvoljeno obogaćivanje nuklearnog goriva 5 % U - 235)

5. Opterećenje betonske konstrukcije	Detaljna strukturno-seizmička analiza treba pokazati da betonska konstrukcija bazena može izdržati najveća opterećenja, uključujući i opterećenja za vrijeme najvećeg pretpostavljenog potresa
6. Premještanje betonske konstrukcije	Analizom treba pokazati da je premještanje goriva moguće isplanirati tako da se omogući vađenje postojećih modula i instaliranje novih modula.

Suho skladištenje

Gorivi elementi koji su proveli dovoljno dugo vremena (najmanje 5 godina) u bazenima za hlađenje, smještaju se u „suha“ skladišta. Suho skladište istrošenog goriva je skladište u kojem je istrošeno gorivo smješteno u plinovitom stanju, npr. inertnom plinu ili vazduhu. Odlaganje je moguće u masivnim kontejnerima, tzv. nezavisnim skladištima (engl. Independent spend fuel storage installation-ISFSI) ili u bunkerima (podzemne ili nadzemne armirano betonske zgrade).

U suha skladišta iskorišteno gorivo se drži metalnim ili betonskim kontejnerima.

Metalni kontejneri

Suho skladištenje u metalnim kontejnerima predviđeno je za manje kapacitete. Istrošeni gorivi elementi pakuju se u metalne kontejnere, koji se zatim na posebno izrađenim platoima skladište u horizontalnom ili vertikalnom položaju. Prednost ovakvog skladištenja je u tome što je modularnog tipa i vrlo jednostavno. Odvođenje toplote postiže se prirodnom cirkulacijom inertnog plina (helija), te i preko zidova posuda.

Betonski kontejneri

Ventilisani uskladišteni kovčeg (eng. Ventilated storage cask) razvijen je u svrhu privremenog skladištenja suhog iskorištenog goriva. Sistem se sastoji od vertikalne betonske posude, metalne posude, tj. sistema višestrukih metalnih košuljica, koja se pohranjuje u centralnu šupljinu vertikalne betonske posude i prenosive metalne posude koja služi za manipulaciju i transport.

DUBOKO ODLAGANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

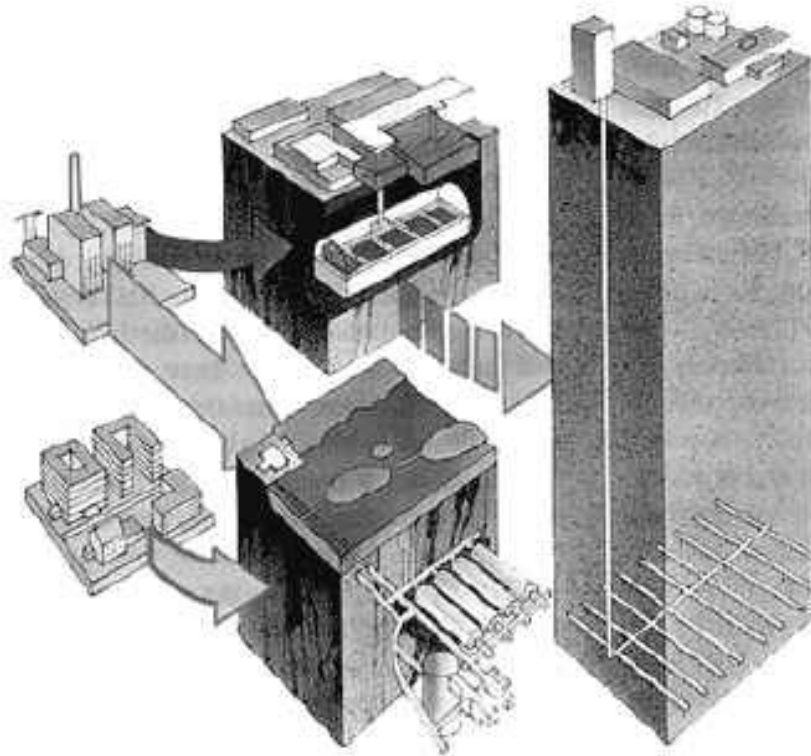
Kako je već navedeno u prethodnom poglavlju odlaganju prethodi mokro skladištenje istrošenih gorivih elemenata radi hlađenja (najmanje 5 godina) koje je najčešće u krugu nuklearne elektrane. Nakon hlađenja slijedi suho skladištenje istrošenog goriva u posebnim kontejnerima, a nakon toga i konačno odlaganje koje se smatra sigurnim i konačnim rješenjem zbrinjavanja radioaktivnog otpada.

Pojam „odlaganje“ podrazumjeva konačno smještanje otpada u odlagalište, bez namjere da se iz njega ikad vadi i bez nužnog oslanjanja na dugoročno nadgledanje i održavanje odlagališta. Dubina na kojoj treba graditi odlagališta za duboko geološko odlaganje zavisi od specifičnih karakteristika lokacije, karakteristika projektovanog sistema za odlaganje, prirode otpada i regulatornim zahtjevima za dugoročnu sigurnost. Uopšteno, buduća odlagališta radioaktivnog otpada trebaju biti izgrađena na dubinama od 250 do 1500 m, slika 1, pa i do 5000 m ako se visoko radioaktivni otpad odlaže pomoću bušotina velikog promjera.

Poželjna geološka svojstva lokacije dubokog geološkog odlagališta uključuju: mehanički stabilne formacije, geohemiju podzemnih voda koje ne ugrožavaju stabilnost paketa s otpadom i oko njih izgrađenih prepreka, vrlo mali protok podzemnih voda i vrlo dugo vrijeme prenosa podzemnim vodama iz dubina na kojima je otpad odložen prema površini, ako radionuklidi ikada dođu do vode.

Geosfera, osim što usporava migraciju radionuklida sorpcijom, matričnom difuzijom i razrjeđivanjem, dodatno znači i poboljšanu dugoročnu sigurnost budući da štiti sistem od površinskih procesa

(glacijacija ili plavljenje) smanjujući ujedno rizik od nenamjernog upada ljudi. Duboko odlaganje se danas smatra najpogodnijim oblikom zbrinjavanja dugoživućeg radioaktivnog otpada. Nacionalni programi zemalja koje planiraju gradnju dubokih odlagališta skoncentrisani su na izbor pogodne lokacije odlagališta, istraživanja i razvoj načina na koji se demonstrira dugoročna sigurnost odlagališta, te na studije kojima se razmatraju druga ekološka i privredna pitanja gradnje.



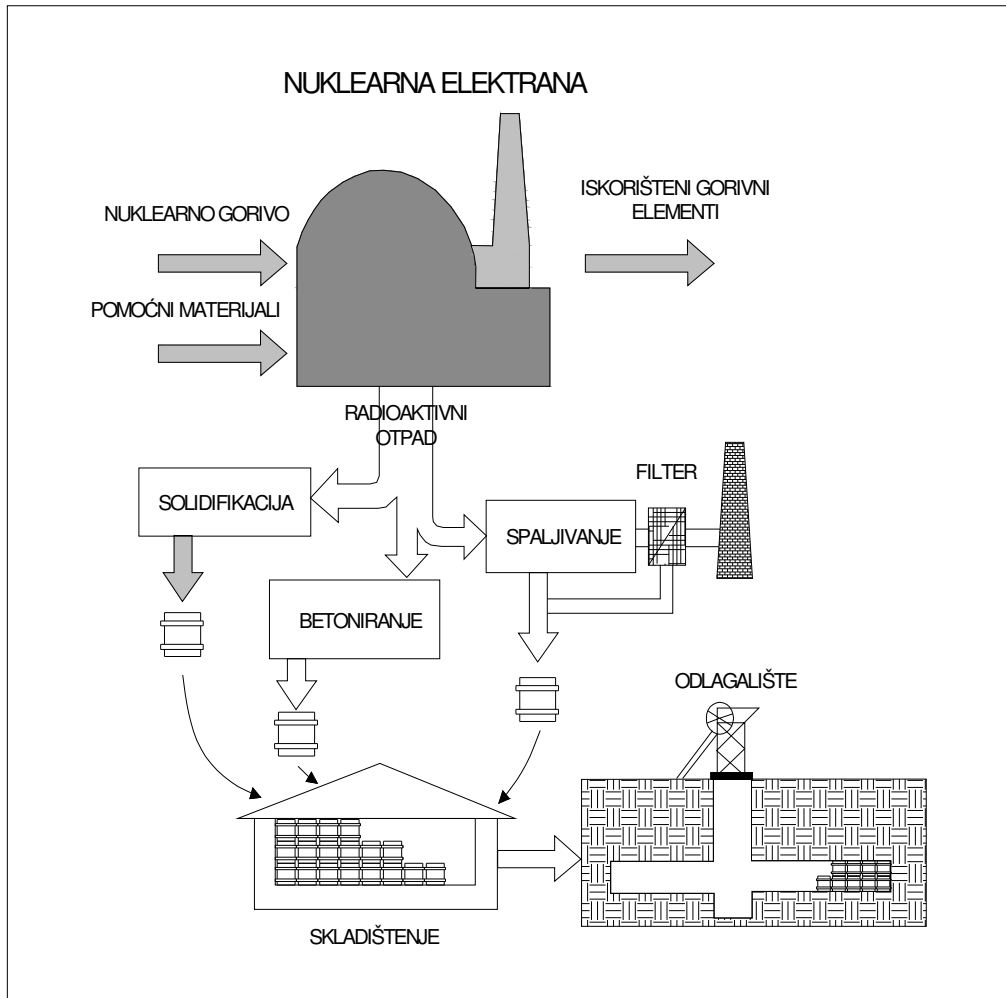
Slika 1. Duboko odlagalište visoko radioaktivnog otpada
Figure 1. Deep disposal of high-level radioactive waste

Sigurnost dubokog geološkog odlagališta procjenjuje se procjenom dugoročnog ponašanja. U nekoliko je zemalja provedena takva formalna procjena sigurnosti i procjena uticaja dubokog geološkog odlagališta na okoliš, i to u Švedskoj, Finskoj, Švicarskoj i u Kanadi. Duboko odlaganje nije ograničeno samo na visoko radioaktivni otpad iz prerade iskorištenog nuklearnog goriva. Neke zemlje, kao što su Belgija, Francuska, Švedska i Švicarska namjeravaju osim iskorištenog goriva i sav ostali dugoživući otpad odložiti u duboka odlagališta, a pripovršinska odlagališta koristiti samo za kratkoživući otpad.

U Njemačkoj se sve vrste radioaktivnog otpada, dakle i kratkoživući otpad, odlažu duboko u geološke formacije. Tako se u odlagalište u Morsleben, u napuštenim rudnicima soli, koje radi od 1981. godine, odlaže kratkoživući, nisko i srednje radioaktivni otpad. Kod dubokih geoloških odlagališta koristi se sistem izgrađenih i prirodnih prepreka kako bi se osigurala dugoročna sigurnost, tako da je takav način odlaganja najpouzdaniji. Na slici 2, prikazan je tretman koji predhodi konačnom zbrinjavanju radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana.

Problem odlaganja visoko radioaktivnog otpada, istrošenog nuklearnog goriva, još je u fazi istraživanja i razvoja i potrebno je u budućnosti definisati slijedeće:

- stabilne geološke formacije
- otporne materijale za kontejnere
- tehnologiju odlaganja



Slika 2. Tretman koji prethodi konačnom zbrinjavanju radioaktivnog otpada iz nuklearne elektrane
Figure 2. Treatment prior to final disposal of radioactive waste from nuclear power

U tabeli 3 prikazan je plan izgradnje, godina izgradnje i način odlaganja u duboka odlagališta visoko radioaktivnog otpada u nekim državama Evrope.

Tabela 3. Plan izgradnje, godina izgradnje i način odlaganja u nekim državama Evrope
Table 3. Plan to build, year to a build and choice of disposal in some countries of Europe

DRŽAVA	GODINA IZGRADNJE	NAČIN ODLAGANJA
Njemačka	2010	Fe kontejneri u solnim formacijama
Švedska	2020	Fe-Cu kontejneri, potencijalna lokacija u granitnim formacijama. Za ispunu će se koristiti bentonit
Španija	2020	Ispituju se lokacije sa solnim, granitnim i glinenim formacijama
Francuska	2020	U toku je istraživanje četiri lokacije sa glinenim formacijama
Belgija	2030	Fe kontejneri u glinenim formacijama. Za ispunu će se koristiti glina i cement

ZAKLJUČAK

Prihvatljivo trajno rješenje zbrinjavanja radioaktivnog otpada je u dubokim geološkim naslagama, tj. na dubinama većim od 250 m, pa i do 5000 m, u zavisnosti od vrste radioaktivnog otpada, sredine u kojoj će se odlagati i načina na koji će se vršiti odlaganje, tj. komorama ili bušotinama velikog promjera. Odlaganje radioaktivnog otpada može se vršiti samo u okviru stabilnih geoloških formacija, koristeći materijale odgovarajuće otpornosti i uz tačno određenu tehnologiju odlaganja. Najveći problem je trajanje radioaktivnosti samog otpada, otpad ostaje radioaktivan od deset, pa i milionima godina.

LITERATURA

1. Jahić M.: Sanitarne deponije. Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću. Bihać, 2006.
2. Levanat I.: Radioaktivni otpad. Agencija za posebni otpad Zagreb. Zagreb, 1997.
3. Milanović P., Torbica S.: Klasifikacija stijenskog masiva i njihova primena, Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu. Beograd, 1997.
4. Šabović A.:Korelacija tehničkih pokazatelja nadzemnih i podzemnih skladišta otpada. Magistarski rad. Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli. Tuzla, 2007.
5. Tomić B.:Teorijske osnove izrade podzemnih komora-skladišta u solnim ležištima. Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli. Tuzla, 1999.
6. Živković S., Kovačević Zelić, B.: Podzemno odlaganje otpada. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, 2002.