

ODLAGALIŠČE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV MORA BITI VARNO — ALI PA GA NI

Gregor Pucelj*

UDK 614.73

Kakor pri vsaki proizvodnji tudi med normalnim obratovanjem jedrske elektrarne nastajajo odpadki, čeprav v razmeroma majhnih količinah, ki imajo to posebno lastnost, da so radioaktivni. Zato jih obravnavajo po strogih varnostnih predpisih in standardih, ki so mednarodno veljavni in katerih glavni namen je, da omogočajo za človekovo zdravje povsem varno ravnanje in odlaganje vseh tovrstnih odpadkov. Rečemo lahko, da nobeni vrsti odpadkov — med njimi še posebej industrijskim in odpadkom, v katerih so nevarne snovi — stroka in zakonodaja ne namenjata toliko pozornosti kot prav radioaktivnim.

Ker vsi odpadki, ki nastajajo med obratovanjem in ob razstavljanju jedrske elektrarne, niso enako aktivni, jih v svetovni praksi praviloma razvrščajo v tri osnovne kategorije:

- nizkoradioaktivne,
- sredneradioaktivne (skupaj z nizkoradioaktivnimi jih s kratico imenujemo NSRAO) in
- visokoradioaktivne odpadke (VRAO).

Po nastanku ločimo radioaktivne odpadke, ki nastanejo med rednim obratovanjem, odpadke, ki se pojavijo pri zapiranju oziroma razstavljanju jedrske elektrarne, in izrabljeno reaktorsko gorivo.

Med rednim obratovanjem se med vzdrževalnimi deli na prežacevalnih in drugih pomožnih sistemih, pri menjavanju vložkov ionskih izmenjevalcev in med različnimi čiščenji pojavijo odpadki nizke in srednje aktivnosti. Mednje uvrščajo uporabljen zaščitna sredstva (delovne obleke, prevleke za obutev, rokavice ipd.), sredstva za dekontaminacijo in čiščenje (brisače, krpe, papir), kontaminirano orodje, vložke filtrov iz ventilacijskih sistemov ipd.

Sredneradioaktivni odpadki so izrabljene smole ionskih izmenjevalcev, filtri iz tehnoloških sistemov in koncentrat uparjalnika. Razumljivo je, da količina omenjenih odpadkov, ki jih uvrščamo med NSRAO, z leti obratovanje elektrarne narašča, na leto pa jih jedrska elektrarna, ki je približno tako velika kot krška, »pridelala« nekaj več kot deset tisoč kubičnih metrov (brez kompaktiranja).

Med obratovanjem jedrske elektrarne ostajajo tudi določene količine izrabljenega reaktorskega goriva (gorivne palice), ki jih jedrski strokovnjaki sicer še ne obravnavajo kot radioaktivne odpadke. Dejstvo pa je, da predelani ali shranjeni takšni, kot so, predstavljajo vir visoke radioaktivnosti z izjemno dolgoživostjo — več tisoč let. Kakor koli torej obravnavamo izrabljeno gorivo, gre v bistvu za visokoradioaktivni material odpadke (VRAO), ki zahtevajo posebno obravnavo in bistveno zahtevnejše pogoje za dokončno odlaganje kot NSRAO.

Med radioaktivne odpadke, s katerimi se

na tem mestu ne bomo posebej ukvarjali, spadajo tudi različni materiali in deli opreme, ki ostanejo po izteku življenjske dobe jedrske elektrarne, torej v času njene razstavljanja. Naraščanje omenjene radioaktivnosti v življenjski dobi elektrarne

ne je degresivno, kar pomeni, da je že v prvih nekaj letih obratovanja dosežen večji del končne aktivnosti. Po dvajsetih letih nadzorovanega mirovanja objekta po zaustavitvi (reaktorsko gorivo je odstranjeno iz reaktorja takoj ob koncu obratovanja), pade aktivnost na desetin-ko prvotne vrednosti in se z leti nenehno zmanjšuje; to je tudi vzrok, da druga faza zapiranja jedrske elektrarne traja čim dlje, tudi več desetletij.

Med obratovanjem jedrske elektrarne se torej srečujemo predvsem z dvema kategorijama radioaktivnih odpadkov (NSRAO in VRAO), ki jih moramo varno

Z ODLAGANJEM VRAO SE NE MUDI

Če obstajajo praktično rutinske inženirske rešitve za gradnjo odlagališč NSRAO, pa je pri VRAO položaj bistveno drugačen. Nikjer na svetu še ni zgrajeno nobeno odlagališče VRAO. O njihovem trajnem odlaganju razmišljajo le v nekaj državah (na Švedskem in v Kanadi že delujeta posebej v te namene zgrajena podzemna laboratorija).

Prvi vzrok za takšno »počasnost« je v tem, da se mora izrabljeno reaktorsko gorivo zaradi toplotne energije, ki jo oddaja, prvih nekaj let v vsakem primeru hladiti v posebnih bazenih, ki so praviloma ob jedrskih elektrarnah. Zato se z njihovo predelavo oziroma trajnim odlaganjem ni treba ukvarjati vsaj nekaj desetletij.

Drugi vzrok pa je, da so nova spoznanja v marsičem spremenila dosedanje poglede na postopek obdelave in način odlaganja VRAO. Še pred nekaj leti je prevladovala doktrina v predelavi izrabljenega reaktorskega goriva in poznejši vitifikaciji visokoradioaktivnih odpadkov, ki pri tem postopku nastanejo. Ker pa je predelava izrabljenega goriva iz komercialnih reaktorjev bistveno zahtevnejša, kot pridobivanje plutonija (za jedrsko orožje seveda) iz posebej za te namene narejenih reaktorjev in zanje pripravljenega goriva, so to doktrino strokovnjaki postopoma opustili, oziroma jo v posameznih državah opuščajo; po prvotnih načrtih, ko je razmeroma veliko držav (med njimi tudi naša) načrtovalo tovarne za predelavo jedrskega goriva, danes na svetu delujeta le dve — v Veliki Britaniji in Franciji.

Večina držav, ki se ukvarjajo s tovrstnimi raziskavami (Švedska, Finska, Kanada, ZDA) zdaj proučuje možnosti za trajno odlaganje nepredelane izrabljenega reaktorskega goriva v stabilnih in globokih (več sto metrov pod zemeljskim površjem) geoloških slojih. Glede na zdajšnje stanje teh raziskav je jasno, da bodo z odlaganjem VRAO začeli v najboljšem primeru šele sredi prve polovice prihodnjega stoletja.

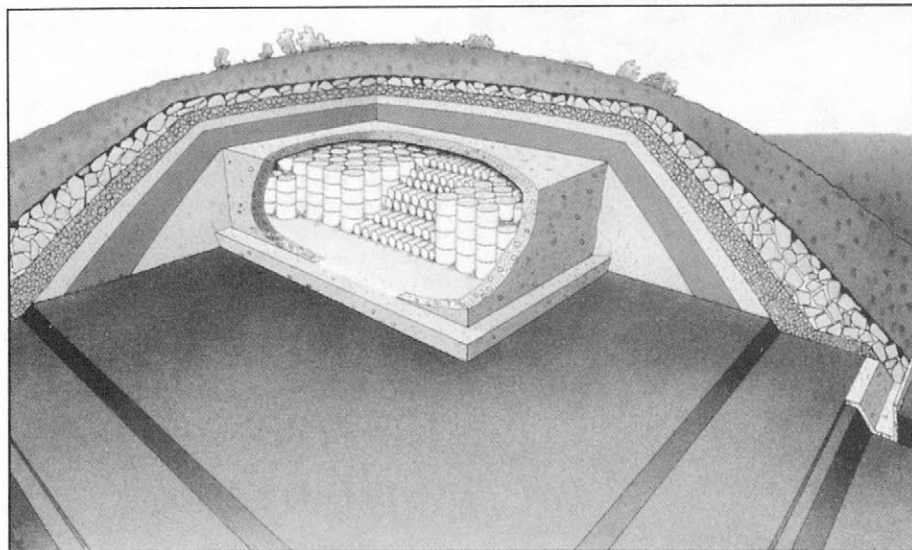
V ZDA so po predhodnih raziskavah našli primerno lokacijo za odlagališče VRAO v Yucca Mountain v Nevadi. S terenskimi raziskavami pa ne morejo začeti, ker jih je vlada države Nevada prepovedala. Prav tako imajo štiri možne lokacije za odlagališča VRAO v Franciji, kjer pa se tudi prebujata protijedrsko javno mnenje in zato ne morejo začeti s terenskimi raziskavami. V Nemčiji je za odlaganje VRAO predviden opuščeni rudnik soli Asse, kjer so pred leti poskusno že odlagali NSRAO. V Švici načrtujejo odlagališče VRAO globoko v skalnih kristalinskih skladih; težave imajo zaradi zelo drage gradnje. Z gradnjo takšnega odlagališča so že začeli v Argentini (Gastre), v SZ so v fazi študija na terenu, podobno tudi v Španiji, Italiji, Indiji, na Kitajskem, v Kanadi, Belgiji in na Švedskem. Na Japonskem imajo načrte za gradnjo tovarne za predelavo izrabljenega goriva in s tem v zvezi iščejo tudi lokacijo za odlagališče VRAO. Podobno vztrajajo pri predelavi goriva in vitifikaciji VRAO (tovarna za predelavo goriva obratuje v Sellafieldu) v Veliki Britaniji, leta 1992 celo načrtujejo začetek gradnje odlagališča za VRAO.

* Delo, Titova 35, Ljubljana.

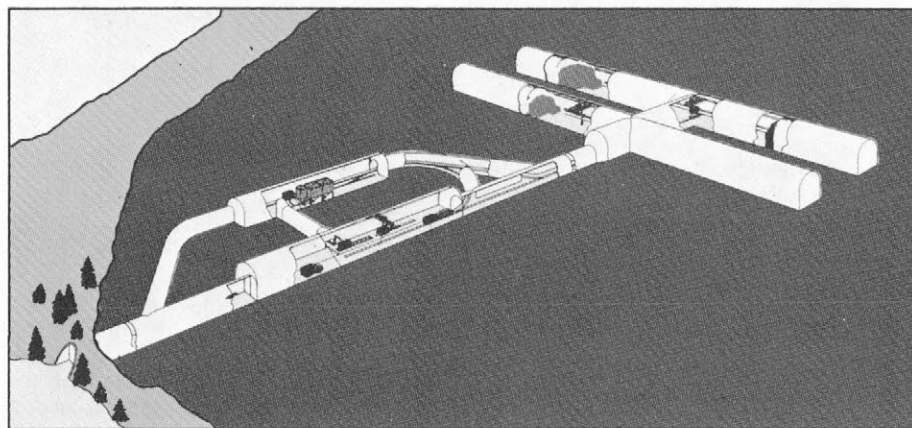
odložiti. Pri tem kaže poudariti — v javnosti je namreč to dejstvo še vedno pre malo znano — da je med enimi in drugimi odpadki izredno velika razlika tako v njihovi aktivnosti kot v toplotni energiji, ki jo

oddajajo; tako Nemci v svoji klasifikaciji RAO ločijo celo samo dve kategoriji, tiste, ki ne oddajajo toplotne energije, in druge, ki jo oddajajo. Zaradi tega je razumljivo, da so za RAO, ki imajo nizko

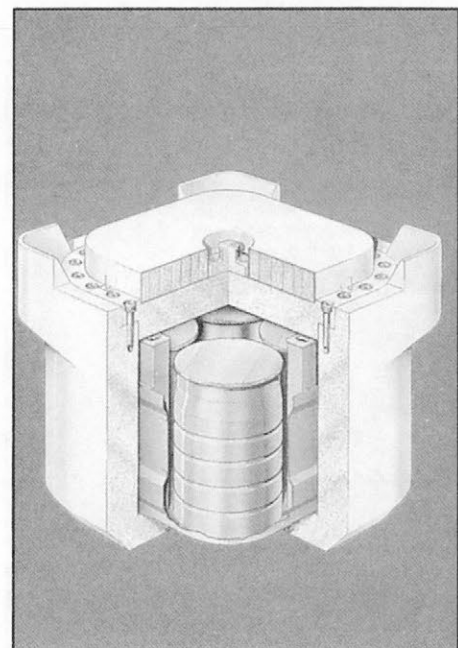
aktivnost in ne oddajajo toplotne energije (v našem primeru NSRAO potrebni bistveno manj zahtevni tehnološki postopki za njegovo obdelavo in odlaganje kakor za VRAO (izrabljeno reaktorsko gorivo ali visokoradioaktivni, največkrat vitrificirani odpadki, ki ostanejo po njegovi predelavi). To pomeni, da moramo za VRAO imeti bistveno zahtevnejše odlagališče kot za NSRAO.



Slika 1. Shematski prikaz odlagališča NSRAO v izvedbi plitvega pokopavanja.



Slika 2. Shematski prikaz odlagališča NSRAO v izvedbi tunelskega odlaganja.

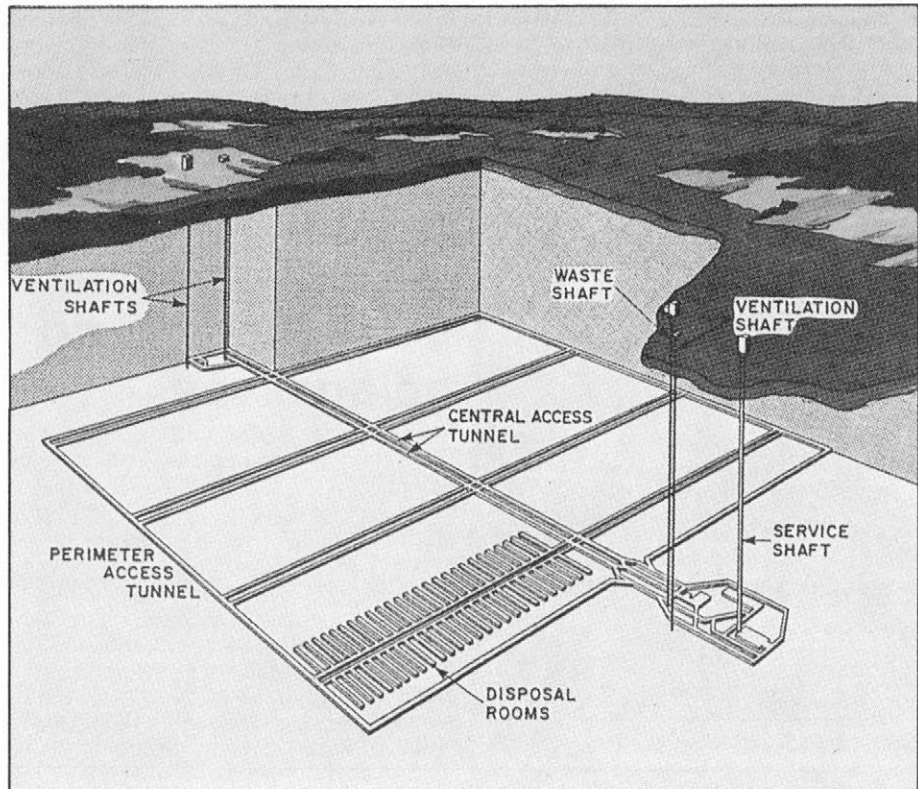


Sliki 3 in 4. Shematski prikaz vsebnika za transport sredneradioaktivnih odpadkov in fotografski posnetek crash-testa; poskusna železniška nesreča pri 100 miljah na uro — vsebnik je ostal nepoškodovan.

Od elektrarne do odlagališča

Kakšna je pot NSRAO od nastanka v jedrski elektrarni do končnega odlaganja v odlagališču?

V jedrski elektrarni, torej tudi v JE Krško, kjer nastajajo med obratovanjem NSRAO, imajo poseben oddelek, v katerem »pakirajo« NSRAO in solidificirajo tiste, ki so tekoči, hkrati pa občasno (enkrat na leto) uporabljajo tudi mobilno napravo za zmanjševanje volumna trdih NSRAO. V JE Krško so zaradi velike prostorske stiske v začasnem odlagališču NSRAO, ki je ob sami elektrarni, začeli uporabljati napravo za kompaktiranje konec leta 1988 in na ta način bistveno zmanjšali volumen sodov z NSRAO, ki so se v začasnem skladišču nabrali v preteklih obratovalnih letih. Po kompaktiranju NSRAO shranijo v posebnih kovinskih sodih; vsak sod dobi »osebno izkaznico« z označeno vsebino in aktivnostjo ob uskladiščenju. **V JE Krško se je do začetka letošnjega leta v začasnem skladišču nabralo okrog 7000 sodov z NSRAO, skladišče pa bo predvidoma polno do konca leta 1992.** Pri tem je posebej pomembno, kar javnost največkrat presliči, da z NSRAO živimo že zdaj (kot rečeno, jih je največ uskladiščenih v skladišču ob JE Krško, začasno



Slika 5. Skice načrta za gradnjo kanadskega odlagališča VRAO, točneje izrabljenega reaktorskega goriva. Odlagališče bo v stabilnem »kanadskem plašču« v globini med 500 in 1000 m. V njem bo prostora za 190 000 t izrabljenega goriva.

skladišče za NSRAO, ki nastajajo med raziskovalno dejavnostjo zaradi uporabe izotopov v medicini in v gospodarstvu, pa je tudi v reaktorskem centru Inštituta Jožefa Štefana v Podgorici pri Domžalah)

in da radioaktivnost, izmerjena na steni na primer krškega skladišča NSRAO, po zagotovilih tamkajšnjih strokovnjakov ne presega radioaktivnega sevanja v naravi. V okolici tega skladišča, ki je seveda znotraj ograje JE Krško, gibanje zaradi izpostavljenosti sevanju ni omejeno.

Če so torej NSRAO v načelu tako nenevarni (so inertni, neeksplozivni), je logično vprašanje, zakaj je zanje sploh treba graditi razmeroma zahtevna odlagališča (objekte) in na posebej skrbno izbranih lokacijah? Razlog je pravzaprav le eden:

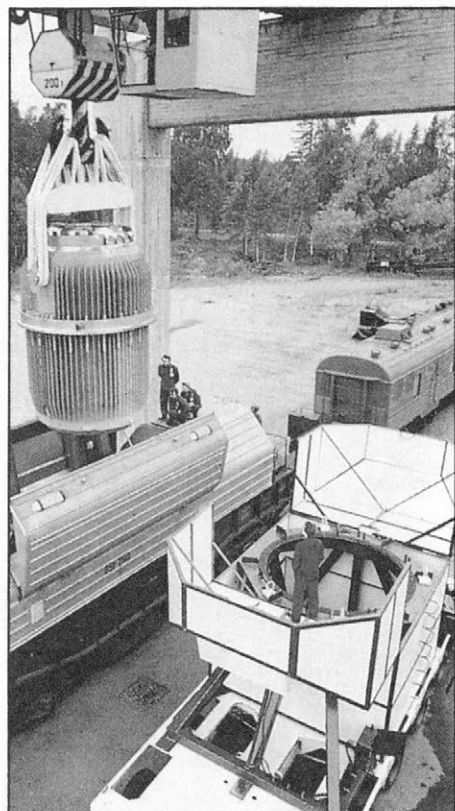
NSRAO morajo biti zaradi svoje radioaktivnosti izolirani od okolja in živih bitij približno 300 let. Toliko znaša deset razpolovnih dob dveh v njihovi sestavi najbolj dolgoživih radionuklidov: cezija (Cs-137 — razpolovna doba 30,2 leta) in stroncija (Sr-90 — razpolovna doba 28,8 leta) in zato morajo naravne in umetne pregrade — se pravi naravne danosti, izbrane lokacije in inženirska izvedba objekta — za toliko časa onemogočati vsakršno nenadzorovano uhajanje radionuklidov v okolje. **To pomeni, da je naloga trajnega odlagališča NSRAO predvsem v tem, da za naravnimi in umetnimi pregradami okrog 300 let ne dopušča, da bi prišla voda (padavine ali podtalnica) do v njem odloženih NSRAO, saj je to praktično edina pot, po kateri lahko radionuklidi nenadzorovano pridejo v okolje.**

Tehnološke rešitve niso sporne, zato pa so težavne politične odločitve

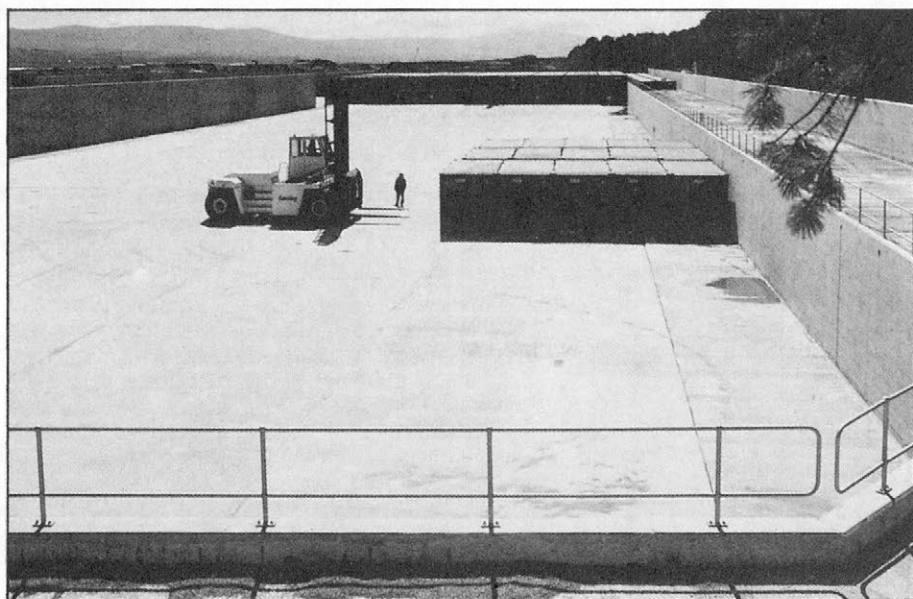
V svetu je razvitih že cela vrsta načinov za gradnjo odlagališč in končno odlaganje NSRAO. Če ne omenjamo posameznih različic, prevladujeta dva tipa:

- plitvo pokopavanje in
- odlaganje v tunelu.

Izbran način odlaganja je odvisen od geološke sestave tal. Plitvo pokopavanje prihaja v poštev v glinasto-lapornih formacijah (za naše potrebe bi za takšno odlagališče potrebovali prostor 300 x 300 metrov, pri čemer je mišljena zunanja ograja odlagališča), medtem ko je odla-



Slika 6. Tako transportirajo izrabljeno reaktorsko gorivo iz finske JE Loviisa na predelavo v SZ.



Slika 7. V Veliki Britaniji imajo urejeno odlagališče za nizkoradioaktivne odpadke v Driggu, kjer tovrstne odpadke odlagajo že od leta 1959.

Transport RAO

● Posebno vprašanje, ki v javnosti poraja številne dvome, je tudi vprašanje prevoza radioaktivnih odpadkov. Medtem ko za prevoz nizkoradioaktivnih odpadkov niso potrebni praktično dodatni varnostni ukrepi kot za običajne posebne prevoze, so v vrsti držav (ZDA, Kanada, Velika Britanija, SZ, Finska) razvili celovite postopke za varen prevoz srednje- in visokoradioaktivnih odpadkov. Tako na Finskem že od leta 1980 redno poteka prevoz izrabljenega reaktorskega goriva iz JE Loviisa na predelavo v SZ. Izrabljene gorivne palice so v posebnih kovinskih vsebnikih, ki jih naložijo na posebej za te namene prirejene vagone. V ZDA in v Kanadi pa so razvili posebne težke tovornjake in v crash-testih preizkušene vsebnike. V Veliki Britaniji so pred nekaj leti, da bi prepričali javnost, testirali vsebnik za transport sredneradioaktivnih odpadkov v resničnih razmerah: načrtno so povzročili testno nesrečo, ko je železniška kompozicija vozila 100 milj na uro, in vsebnik jo je preстал brez poškodb.

Država	Štev. jedrskih reaktorjev		Praksa in načrti za odlaganje NSRAO					
	delujo-	v gradnji	A	B	C	D	E	F
Argentina	2	1	X	X				
Belgija	7		X	X	X			
Brazilijska	1	1						
Bolgarija	5	2	X					
Kanada	19	3	X	X	X	X		
Kitajska		2						
Kuba		2						
Čehoslovaška	8	8	X	X				
Finska	4		X		X			
Francija	56	6	X	X				X
Nemčija	25	6	X	X				X
Madžarska	4		X		X			
Indija	8	6	X	X	X	X		
Iran		2						
Japonska	41	10	X	X	X	X	X	
Južna Koreja	9		X		X			
Mehika	1	1						
Nizozemska	2		X		X		X	
Pakistan	1							
Romunija		5	X	X				
Južna Afrika	2		X		X	X		
Španija	9		X	X	X			
Švedska	12		X		X			X
Švica	5		X	X	X			
Tajvan	6							
Velika Britanija	37	1	X	X	X			X*
ZDA	112	1	X	X	X	X		
SZ	47	25	X		X			
Jugoslavija	1		X		X			
Skupaj	424	82						

Legenda:

A ... NSRAO obdelani, pakirani in uskladiščeni; B ... delno sežiganje; C ... načrtovano končno odlaganje; D ... NSRAO obdelani, zapakirani in zakopani; E ... predvideno odlaganje v morju; F ... končno odlaganje zgrajeno ali locirano.

Opomba: V odlagališču Drigg so od leta 1959 odložili okrog 600000 m³ izključno nizkoradioaktivnih odpadkov.

Vir: (velja le za število delujočih in načrtovanih jedrskih reaktorjev) IAEA, 30. januar 1991.

ganje v tunelih primerno v granitnih formacijah. Vse te kamenine so naravno slabo propustne za vodo in so torej naravne ovire za gibanje radionuklidov v okolju.

Kot nadgradnja oziroma dopolnilo naravnih ovir pa so v odlagališču NSRAO še tehnične ovire, katerih število oziroma izvedba se, razumljivo, prilagaja kakovosti naravnih ovir. Čim boljše so naravne ovire (velika nepropustnost in stabilnost kamenine, v kateri bo odlagališče NSRAO), tem manj je potrebnih inženirskih ovir in obratno.

Kot prva in zelo pomembna tehnična ovira, ki onemogoča emisijo radionuklidov v okolje, je t. i. odlagalna enota (vsebnik) iz armiranega betona, v kateri so sodi z NSRAO zaliti z betonom, tako da je dosežena njihova kompaktnost, zaščita pred sevanjem je učinkovita in zmanjšana je možnost za kakršno koli gibanje radionuklidov. Nato kot naslednje tehnične ovire pri plitvem pokopavanju NSRAO poskrbijo za gradnjo odlagalnih prostorov, ki so z raznovrstnimi tehničnimi rešitvami zaščiteni pred vdorom vode. Te prostore (v našem primeru bo njihov tlo-

ris znašal okrog 50 × 100 metrov) prekrivajo z nepropustnimi materiali, nazadnje pa praviloma pokrijejo s plastjo prsti in zatravijo.

V marsičem je podoben postopek pri tunnelskem odlaganju NSRAO, s tem da tunele, v katere odlagajo NSRAO, ko so zapolnjeni, zapirajo z nepropustnimi materiali.

Obstajajo tudi študije, v katerih so simulirane različne razmere in vplivi na odlagališče NSRAO med njegovim obratovanjem in tudi v času, ko je že polno in zaprto, ko mora biti le izolirano od okolja. Za naše razmere so takšne študije naredili pred dvema letoma na Hrvaškem, pri čemer so za izračun doz upoštevali priporočila Mednarodne komisije za zaščito pred sevanji (ICPR). Obravnavali so različne scenarije in za vsakega so izračunali izpuste radioaktivnosti, njihovo disperzijo in transport v okolje odlagališča NSRAO. Iz teh podatkov so izračunane doze, ki bi jih prejel posameznik in prebivalstvo, ki bi bilo izpostavljeno sevanju z odlagališča. Rezultat te predhodne ocene vpliva odlagališča NSRAO na okolje (v Sloveniji ali na Hrvaškem) so učinkovite ekvivalentne doze na posamezne organe in 50-letna akumulacija doze v telesu, kar je v skladu s priporočili ICPR.

Izračuni so pokazali, da se gibljejo doze pri najslabših predvidenih scenarijih med obratovanjem odlagališča — ko ga torej še polnijo — do 4,2 milisieverta/leto (scenarij požara v odlagališču, kar je zaradi slabe vnetljivosti in neeksplozivnosti NSRAO malo verjetno) in 0,0003 milisieverta/leto po zaprtju odlagališča (scenarij, ko bi na samem odlagališču zgradili stanovanjsko hišo). Na podlagi teh podatkov in ob poznavanju sodobne gradbene tehnologije strokovnjaki ocenjujejo, da je tveganje, povezano z gradnjo odlagališča NSRAO, družbeno sprejemljivo.

Kljub tem pomirjujočim podatkom pa je število že zgrajenih odlagališč NSRAO po svetu prej ko ne skromno. Če pogledamo razpredelnico, vidimo, da imajo že zgrajena in delujoča odlagališča le v Franciji (kjer do nedavna praktično ni bilo širšega gibanja proti jedrski energetiki), v združenih Nemčiji in na Švedskem; v obeh primerih imajo razmeroma ugodne naravne danosti za gradnjo takšnih odlagališč (v nekdanjih Nemčijah imajo zelo suhe opuščene železove in slane rudnike, na Švedskem pa izredno stabilno in za vodo slabo propustno kamenino). V večini drugih držav imajo pripravljene načrte za gradnjo odlagališč NSRAO in marsikje tudi že izbrane lokacije, toda povsod se zatika na politični ravni odločanja, kjer vsaj lokalno prebivalstvo (sindrom NIMBY) noče poslušati argumentov v prid gradnje odlagališča NSRAO. Podobni zapleti se, kot je znano pojavljajo tudi pri nas. Pri tem je — če skušamo izključiti iracionalne strahove — verjetno najmočnejši argument proti gradnji takšnega odlagališča v naši republiki (ali na Hrvaškem) ekonomske narave; za tako majhno količino NSRAO, kot bi jih ostalo po polni obratovalni življenjski dobi JE Krško in v ostalih dejavnostih na ob-

214 močju naše republike, je upoštevanje svetovno prakso negospodarno graditi posebno odlagališče (kot primer: samo na Japonskem so do danes »pridelali« 800000 sodov z NSRAO). Toda, ker v mednarodnih odnosih na tem področju — razen znanstvenega sodelovanja — še ne obstajajo dogovori za izvoz oz. uvoz radioaktivnih odpadkov iz ene države v drugo, bomo očitno morali ugrizniti tudi v to kisljo, po realnih ocenah 30 milijonov dolarjev vredno jabolko.

Zaključki

- Osnovni cilj pri gradnji odlagališč radioaktivnih odpadkov je, da jih izoliramo od okolja. Če je ta cilj dosežen z naravnimi in umetnimi pregradami,

potem lahko rečemo, da v takšnem odlagališču odloženi RAO okolju in prebivalstvu niso nevarni in je zato gradnja takšnega odlagališča družbeno sprejemljiva.

- Najzahtevnejša naloga pri izvedbi takšnega odlagališča je preprečevanje vodi (padavinski ali podtalnici), da bi prišla v stik z odloženimi RAO, kar bi lahko povzročilo njihovo nenadzorovano gibanje v okolju.
- V svetovni praksi obstajajo tehnološke in inženirske rešitve za gradnjo varnih odlagališč NSRAO.
- Zaradi specifičnosti VRAO/izrabljene-ga reaktorskega goriva še nikjer na svetu ni zgrajeno odlagališče za te odpadke. Delo na tem področju je še v raziskovalni fazi.

- Transport NSRAO (kot ena potencialnih nevarnosti za okolje in ljudi) je deležen posebne pozornosti. Dosedanje izkušnje v vrsti držav kažejo, da so zdaj razviti transportni postopki varni.
- Glavna ovira za gradnjo odlagališča NSRAO v razmeroma gosto naseljenih državah (Evropa in tudi naša republika) je predvsem psihološke in politične narave.
- Gradnja odlagališča za NSRAO, ki nastanejo v življenjski dobi ene same jedrske elektrarne, glede na mednarodno prakso ni ekonomsko opravičljiva. Hkrati pa mednarodna praksa tudi ne dopušča izvoza takšnih odpadkov v druge države.



Slika 8. Nizkoradioaktivni odpadki kot so papir, rokavice, zaščitna oblačila, i.p.d.

1. Nuclear Waste Management in OECD Countries (OECD/NEA, 1990).
2. Problematika zapiranja NE Krško — tehnična izvedljivost, ekološki vplivi, stroški (Elektroprojekt Ljubljana, november 1990).
3. The Management of Radioactive Wastes (IAEA, 1981).

Gregor Pucelj Radioactive Waste Disposal Sites Must Be Safe

The main problem of wastes produced during the operation period of a nuclear power plant is radioactivity, and therefore all types of nuclear waste must be disposed of in specially designed disposal sites. Their main function is to deny contact between radioactive wastes and the environment by natural and artificial barriers. The basic problem is how to prevent water from contacting disposed wastes, as water is the only possible medium which can cause the uncontrolled migration of radionuclides into the environment.

In world practice there is a sharp division between the treatment of low and intermediate level wastes on one hand and high level wastes on the other. Technological and engineering solutions for building low and intermediate level waste disposal sites are available, but solutions for high level waste disposal sites are still in the research phase.

There is special concern for the transportation of all kinds of radioactive wastes. The safety standards are high, as in the event of accident there must be no emission of radionuclides into the environment.