

Miran VESELIČ

prof.dr., univ.dipl.inž.geol., Agencija za radioaktivne odpadke, Parmova 53, Ljubljana

## **ODLAGALIŠČE ZA RADIOAKTIVNE ODPADKE V SLOVENIJI**

**POVZETEK:** V članku je prikazana problematika izgradnje odlagališča radioaktivnih odpadkov v Sloveniji. Podane so splošne informacije o radioaktivnih odpadkih in njihovi klasifikaciji, o količini teh odpadkov v Republiki Sloveniji in o načrtih ravnanja z njimi v prihodnjem desetletju in dolgoročno. Prikazan je postopek prostorskega umeščanja odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov ter izbor potencialne lokacije odlagališča. Podane so značilnosti lokacije in značilnosti v idejnih zasnovah obdelanih variant odlagališča. Za zaključek je podana informacija o izboru optimalne variante odlagališča ter o razlogih zanj.

## **RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY IN SLOVENIA**

**SUMMARY:** The paper presents various aspects relating to the construction of a radioactive waste repository in Slovenia. General information upon the radioactive waste and its classification, upon the quantity of this waste in Slovenia, and upon mid and long term radioactive waste management plans is given. The LILW repository siting process is described as well as the site selection procedure. Some basic features of the most probable potential site, along with the repository options elaborated in the repository's conceptual design. Short information upon the design option selection process are given as well as the reasons for the selection of one of the design options

## RADIOAKTIVNI ODPADKI

Snovi so radioaktivne zaradi z radioaktivnim razpadom povzročene  $\gamma$ ,  $\beta$  in  $\alpha$  sevanja. Učinke tega sevanja je možno koristno izrabiti, zato je uporaba teh snovi v sodobnih industrijskih družbah razširjena in razvejana. Ko radioaktivne snovi oziroma viri sevanja zaradi upada moči sevanja ali iz drugih razlogov izgubijo svojo uporabnost, postanejo odpadek. Če je intenzivnost sevanja v njih prisotnih radioaktivnih snovi nad zakonsko določeno mejo izvzetja, postanejo radioaktivni odpadek, sicer pa posebni ali komunalni odpadek. Meja izvzetja je za vsak radioizotop posebej določena z njegovo v Bq/g izraženo masno aktivnostjo.

Radioaktivni odpadki so v najbolj splošni klasifikaciji ena od vrst odpadkov; v tem okviru ločimo še komunalne odpadke in posebne odpadke. Odpadki, ki so uporabljivi v drugih postopkih ali dejavnostih, so odpadki so le navidezno oziroma začasno, dejansko so sekundarna surovina. Med radioaktivnimi odpadnimi snovmi sodi v ta okvir izrabljeno jedrsko gorivo. Ni odpadek, saj je potencialna sekundarna energetska surovina.

Največje količine radioaktivnih odpadkov nastajajo pri proizvodnji električne energije. Sem štejemo vse odpadke gorivnega kroga. Ti nastajajo pri izkopu in predelavi uranovih in torijevih rud, pri proizvodnji oziroma predelavi jedrskega goriva, pri proizvodnji v jedrskih elektrarnah in pri razgradnji teh elektrarn in z radioaktivnimi odpadki povezanih objektov. Z odpadki gorivnega kroga je možno povezati tudi odpadke kroga raziskovalnih jedrskih reaktorjev. Gre za podobne vire odpadkov, le da niso namenjeni proizvodnji električne energije.

Pomembni viri radioaktivnih odpadkov so tudi raziskovalna dejavnost, industrija in medicina. V vseh teh primerih gre za rabo v reaktorjih pridobljenih radioaktivnih izotopov ali drugih naravnih radioaktivnih snovi. Radioaktivni materiali so v teh primerih običajno zaprti v ustrezno ohišje, zato govorimo o zaprtih virih. V medicini uporabljamo pri diagnostiki radioaktivne snovi tudi v oblikah, ki omogočajo, da se nato te snovi iz telesa odstranijo z izločili. Tudi izločki tako obravnavanih pacientov so zato radioaktivni odpadek.

Manjši vir radioaktivnih odpadkov so še javljalniki požara in industrijski strel vodni. Oboji lahko vsebujejo radioaktivne izotope. Tudi pri nekaterih industrijskih procesih lahko prihaja do tolikšne koncentracije naravno radioaktivnih snovi, da je treba nato odpadno opremo in postroje obravnavati kot radioaktivni odpadek (tako imenovani NORM in TENORM odpadki).

Radioaktivne odpadke delimo najprej glede na količino z radioaktivnim razpadom sproščene energije. Odpadki, ki so tako radioaktivni, da se pri tem segrevajo, so visoko radioaktivni odpadki. Značilno zanje je, da bodo upadli pod aktivnost naravnega ozadja šele po več sto tisoč do milijon letih, in, da so zelo strupeni. Vsi drugi so srednje in nizko radioaktivni odpadki. Srednje in nizko radioaktivne odpadke delimo naprej še glede na razpadno dobo v njih vsebovanih radioaktivnih snovi in vsebnost  $\alpha$  sevalcev. Če je njihova razpolovna doba  $\leq 30$  let, so to kratkoživi odpadki, sicer so pa dolgoživi.

Po 10 razpolovnih dobah upade radioaktivnost radioaktivnih snovi pod aktivnost naravnega okolja. Za kratkožive velja, da zato po 300 letih niso več radioaktivne. Dolgožive radioaktivne snovi pa so lahko aktivne več deset tisoč let, zato zahtevajo drugačno ravnanje. V industrijskih procesih nastalim kratkoživim radioaktivnim odpadkom je žal vedno primešano tudi nekaj dolgoživih snovi, v latovščini stroke označenih kot  $\alpha$  sevalci. Koliko teh snovi je dopustnih in kolikšna je dopustna aktivnost odpadkov in njihovih paketov, je odvisna od naravnih in tehničnih značilnosti posameznega odlagališča. Pri nas sta zakonsko predpisani mejni aktivnosti 400 Bq/g povprečno za celotno odlagališče oziroma skladišče in 4.000 Bq/g povprečno za posamični paket radioaktivnih odpadkov. V zadnjem času se je v tem okviru zaradi bistveno nižjih z njihovim odlaganjem povezanih stroškov uveljavila še kategorija zelo nizko radioaktivnih odpadkov. Njihova radioaktivnost bo namreč padla pod mejo izvzetja že v nekaj deset letih.

Prav posebno skupino radioaktivnih odpadkov pa predstavljajo odpadki s snovmi, katerih razpolovna doba je le od nekaj dni do nekaj čez deset dni. Te snovi se uporabljajo se v medicinski diagnostiki. Izločki pacientov predstavljajo zato zelo kratkožive, a potencialno patogene radioaktivne odpadke.

## **RAVNANJE ZA RADIOAKTIVNIMI ODPADKI**

### **Mednarodna ureditev na področju radioaktivnih odpadkov**

Mednarodni promet z radioaktivnimi snovmi je strogo nadzorovan in omejen. Izvoz radioaktivnih odpadkov v druge države je praktično onemogočen na več načinov: 1) z nacionalno zakonodajo, ki v večini držav prepoveduje uvoz radioaktivnih odpadkov, 2) z mednarodnimi konvencijami, ki ne dovolijo izvoza radioaktivnih odpadkov v dežele brez sodobno urejenih odlagališč, in, ki določajo, da je trajna odložitve radioaktivnih odpadkov dolžnost države proizvajalke, 3) s pogodbami, ki vsebujejo dogovor o vračilu izrabljenega jedrskega goriva ali izrabljenih virov proizvajalcu, s tem pa v državo izvora.

Za razliko od posebnih odpadkov, kjer je tudi toksične možno prevzemati in izvažati brez omejitev za razmeroma skromno ceno 0,5-1,0 €/kg (oziroma 1.500-2.500 €/m<sup>3</sup>) radioaktivnih odpadkov ni moč izvažati. To velja seveda tudi za nizko in srednje radioaktivnih odpadkov in zelo nizko radioaktivne. Paradoks te ureditve je, da bodo prvi toksični in zato nevarni na veke, drugi pa bodo radioaktivni – in s tem nevarni - le od 50 do nekaj sto let.

Obstoječa mednarodnopravna ureditev ravnanja z radioaktivnimi odpadki žal ekonomsko izčrpava države z majhnimi jedrskimi programi. Ravnanje z nekaj tisoč ali deset tisoč m<sup>3</sup> radioaktivnih odpadkov je po m<sup>3</sup> tudi do 20-krat dražje kot ravnanje z milijonom m<sup>3</sup>. Za te države, vključno s Slovenijo, bi bil izvoz njihovih radioaktivnih odpadkov veliko bolj ekonomičen kot pa odlaganje doma. Prav paradoks mednarodne pravne ureditve na področju radioaktivnih in toksičnih odpadkov je jasen dokaz, da so radioaktivni odpadki prvenstveno socio-psihološki, posledično pa politični problem.

### **Tehnične rešitve pri skladiščenju in odlaganju radioaktivnih odpadkov**

Tehnične rešitve so pri skladiščenju in odlaganju radioaktivnih odpadkov prilagojene naravi teh odpadkov in trajnosti rešitve. Za ves čas, ki mu je posamezna ureditev namenjena, mora omejiti emisije radioaktivnih snovi v biosfero in neposredno človekovo okolje v zakonsko predpisane okvire. Pri tem zahteva etika stroke z vidika jedrske varnosti upoštevanje principa ALARA (as low as reasonably achievable). Ta zahteva, da so emisije v okviru zakonskih norm tako majhne, kot je le mogoče.

Pri izrabljenem jedrskem gorivu in visoko radioaktivnih odpadkih zagotavljajo rešitve z dolgoročnim skladiščenjem v bazenih z vodo ali v suhih jeklenih vsebnikih varnost ureditve za dobo 45-120 let. Odlaganje pa zahteva več sto metrov globoka geološka odlagališča, ki zagotavljajo zakonsko ustrezno omejitev emisij v biosfero za najmanj sto tisoč, po možnosti pa za milijon let.

Za skladiščenje srednje in nizko radioaktivnih odpadkov se uporabljajo suha dvoranska skladišča in skladiščenje v sodih. Odlaganje kratkoživih in srednje in nizko aktivnih odpadkov pa zahteva, ob primernem deležu dolgoživih primesi, zakonsko omejitev izpustov v biosfero za 300 let. Temu pogoju lahko zadostijo pripovršinska in odlagališča, ki so tehnično-tehnološko prilagojena deležu dolgoživih primesi. Pri povečanem deležu teh snovi mora biti doba omejitve emisij v biosfero ustrezno daljša, s tem pa narašča pomen naravnih geoloških zapor. Odlaganje dolgoživih srednje in nizko radioaktivnih odpadkov pa zahteva, da tehnične rešitve in naravne geološke zapore zagotovijo omejitev emisij v biosfero za nekaj deset tisoč do nekaj sto tisoč let. Njihovo odlaganje zahteva zato ustrezne – večinoma podzemne - rešitve.

### **Odlaganje radioaktivnih odpadkov – tehnični ali sociološki problem**

Odlaganje standardnih nizko in srednje radioaktivnih odpadkov velja za tehnično-tehnološko povsem rešen problem. V tem okviru je odprto le še vprašanje odlaganja žarčenega grafita iz grafitnih reaktorjev. Pričakovati pa je, da bodo v razmeroma kratkem času našli rešitve tudi zanj.

Tehnično-tehnološko je povsem obvladano tudi vprašanje odlaganja izrabljenega jedrskega goriva in visoko radioaktivnih odpadkov. Z izjemo odlagališča vojaških odpadkov v Wigg-u v ZDA, v svetu takih odlagališč še ni. Na tej problematiki posvečeni strateški konferenci v Bernu so se zato s tem v zvezi

pojavi ocene, da taka odlagališča doslej očitno še niso bila dovolj potrebna. Prav temu dejstvu pripisujejo zastoje pri njihovi izgradnji in naraščanje števila dolgoročnih skladišč.

Iz povedanega sledi, da je odlaganje radioaktivnih odpadkov prvenstveno socio-psihološki problem. Ljudje nimamo čuta, s katerim bi zaznavali radioaktivno sevanje, zato je strah pred radioaktivnostjo povsem primaren in logičen. Posledice bombardiranja Hirošime in Nagasakija, atomskih poskusov v atmosferi ter nesreče v jedrski elektrarni v Černobilu so zato preglasile vse pozitivne učinke radioaktivnih sevanj v medicini.

Strah in odpor do odlagališč odpadkov sta zaradi s tem povezane negotovosti sorazmerna stopnji nezaupanja v upravne in politične strukture. Ni slučajno, da zato z načrtovanjem in izgradnjo odlagališč ni večjih problemov v skandinavskih državah, v Kanadi, v Južni Koreji in na Japonskem. Lokacije za odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov, ali za odlagališča visoko radioaktivnih odpadkov, dobivajo občine, kjer delež glasov 'za' presega 70 ali 80 %. Tudi na Madžarskem je odstotek odgovorov 'za' na referendumu o lociranju odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov presegel 90%. Visoko stopnjo zaupanja kažejo tudi pozitivni rezultati referendumov in javnomnenjskih anket v Švici. Žal jer drugače v Avstriji, Italiji in Sloveniji. Tu je zaupanje v državno upravo in institucije nizko in bitka za lokacijo odlagališča odprta. Žal je v Sloveniji po ugotovitvah Eurobarometra med najnižjimi v Evropi tudi zaupanje v neodvisne eksperte, kar nam povzroča dodatne probleme s kredibilnostjo.

V svetu v državah z razvito demokracijo po letu 1980 ni bilo primera, da o lociranju odlagališča radioaktivnih odpadkov ne bi soodločali krajanji lokalne skupnosti. Poskusi, da bi to storili brez vključevanja krajanov (Slovenija 1993, Češka in Italija pred nekaj leti) so vodili v neuspeh. To kaže na vpliv in pomen družbene sprejemljivosti.

Ne glede na pomen družbene sprejemljivosti, pa je prva funkcija odlagališč zagotavljanje varnosti. Zato ne gre zanemariti tehnično-tehnoloških vprašanj. Prejšnja navedba, da so odlagališča tehnično-tehnološko rešen problem ne pomeni, da ne gre za izredno kompleksne strukture in zahtevne gradnje, ki zahtevajo sistematično in inventivno načrtovanje in natančno in kakovostno gradnjo. Prav varnost in podatkovna odprtost sta poplačani z zaupanjem javnosti, ki je nujno tako za umeščanje kot za nemoteno obratovanje odlagališč.

## **RADIOAKTIVNI ODPADKI V SLOVENIJI**

### **Slovenski jedrski in nejedrski program ter radioaktivni odpadki**

Slovenija ima trenutno eno jedrsko elektrarno z instalirano močjo 676 MWe, en raziskovalni reaktor z instalirano močjo 250 kW, en rudnik urana v zapiranju in eno centralno skladišče za odpadke malih proizvajalcev. Ti objekti se nahajajo na treh jedrskih lokacijah: Krško, Brinje v Dolu pri Ljubljani in Žirovski vrh. Opredelimo jih kot slovenski jedrski program.

Jedrski elektrarno v Krškem naj bi bila po trenutnih zakonskih določbah zaprta v letu 2023. Vendar se bo v skladu z nacionalnim energetskega programom v letih 2008-2012 odločalo o morebitnem podaljšanju njene življenjske dobe. Glede na stanje elektrarne in izkušnje iz sveta je pričakovati, da bo njena življenjska doba podaljšana za do 20 let. Raziskovalni reaktor pa bo ugasnjen v letu 2016, da bi lahko v letu 2019 izvedli vračilo izrabljenega goriva v ZDA skladno z dogovorom. Obstajajo tudi razmišljanja o morebitni gradnji 2. jedrskega reaktorja v Krškem.

Poleg tega uporablja v Sloveniji 20 organizacij odprte vire radioaktivnega sevanja, 116 organizacij ima trenutno v rabi še več kot 500 zaprtih virov sevanja. K temu lahko prištejemo še skoraj vse več kot 10 let stare javljalnike požara v vseh slovenskih javnih stavbah.

Analiza obeh prej navedenih programov kaže, da lahko iz jedrskega elektrarne Krško pričakujemo do 2023 leta 3.700 m<sup>3</sup> kratko živih nizko in srednje radioaktivnih odpadkov. Če bi se njena življenjska doba podaljšala za 20 let, bi dobili dodatnih 1.000-1.200 m<sup>3</sup>. Po obstoječih, 12 letih starih nemških ocenah lahko od njene razgradnje računamo s 13.100 m<sup>3</sup> teh odpadkov. Vendar kaže novejša, v okviru programa PHARE v letu 2006 narejena študija, da jih bo predvidoma le okrog 4.000 m<sup>3</sup>.

Dodatnih 150 m<sup>3</sup> teh odpadkov pričakujemo od razgradnje raziskovalnega reaktorja, 140 m<sup>3</sup> pa še iz centralnega skladišča v Brinju. Skupno računamo s približno 18.500 m<sup>3</sup> odpadkov, a negotovost glede njihove količine je zelo velika. Ob tem nastajajo v obeh že omenjenih programih tudi dolgoživi nizko in srednje radioaktivni odpadki. Iz vseh treh prej omenjenih virov jih bo skupno 260 m<sup>3</sup>.

Iz jedrske elektrarne Krško pričakujemo do leta 2023 tudi 240 m<sup>3</sup> izrabljenega jedrskega goriva s 650 tonami U, s podaljšanjem njenega delovanja za do 20 let pa skupno 345 m<sup>3</sup> z 940 tonami U. To seveda ni odpadek, pač pa potencialna sekundarna energetska surovina.

### **Nacionalni program ravnanja z radioaktivnimi odpadki v Sloveniji**

Nacionalni program ravnanja z radioaktivnimi odpadki [1] je sprejel Državni zbor v letu 2006 kot ločen podprogram nacionalnega programa ravnanja z okoljem. V njem so na podlagi Programa razgradnje NE Krško, Programa zapiranja rudnika Žirovski vrh, programov ravnanja z radioaktivnimi snovmi in zaprtimi viri v posameznih klinikah ter na podlagi podatkov uporabe radioaktivnih snovi v drugih dejavnostih opredeljeni načrti ravnanja z radioaktivnimi snovmi za obdobje 2006-2015. Nacionalni program upošteva, da morajo biti odlagališča rudniške in hidrometalurške jalovine v Žirovskem vrhu (obe jalovini sta opredeljeni kot sevalni odpadek) v tem obdobju zaprti in sanirani. Upošteva, da mora biti v letu 2013 operativno tudi že odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov, in, da mora biti v tem obdobju posodobljena ali na novo zgrajena tudi staralnica za zelo kratkožive odpadke v onkološkem inštitutu oziroma v kliničnem centru.

Program ravnanja z izrabljenim jedrskim gorivom pa je za nacionalni program preveč dolgoročen. Razdelan pa je v Programu razgradnje NE Krško [2], ki je opredelil vse z okoljskimi bremenami NE Krško povezane aktivnosti za dobo 120 let po njenem zaprtju. Sedem let po zaprtju NE Krško je tako predvidena izgradnja suhega skladišča za izrabljeno jedrsko gorivo. Delovalo naj bi 45 let, z možnostjo obnove in podaljšanja za dodatnih 45 let. S tem sledimo zgledom Nizozemske, Belgije, Češke in drugih držav, v katerih obratujejo podobna, za do 120 let načrtovana, skladišča. V tem času bo izrabljeno jedrsko gorivo zelo verjetno postalo ekonomsko zanimiva sekundarna jedrska surovina.

Trenutno sta torej najbolj aktualni naslednji postavki našega nacionalnega programa ravnanja z radioaktivnimi odpadki: 1) dokončna ureditev odlagališč sevalnih odpadkov v rudniku Žirovski vrh, in 2) načrtovanje in izgradnja odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov.

### **ZASNOVA ODLAGALIŠČA NIZKO IN SREDNJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV**

Zasnova odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov v Sloveniji mora slediti mednarodnim priporočilom in standardom ter slovenski jedrski in drugi zakonodaji. Poleg teh splošnih načel mora upoštevati specifičnosti posamezne lokacije in na tej osnovi zagotoviti kratkoročno in dolgoročno varnost, okoljsko in prostorsko primernost, socialno sprejemljivost, tehnično izvedljivost in ekonomsko racionalnost. Kriteriji so si med seboj občasno v nasprotju, zato je končna rešitev nujno kompromis. Vendar kompromis ob pogoju, da pri zagotavljanju jedrske varnosti ne sme biti kompromisov. Ekonomika je s tem nujno potisnjena v ozadje, vendar vsekoli prisotna, saj so finančni viri omejeni.

V začetnih, pred letih izvedenih študijah sta bila za potrebe preliminarnih stroškovnih ocen na osnovi tujih vzorov na generični ravni obdelana primera površinskega in podzemnega odlagališča. Kasneje so bile na enaki ravni obdelane še rešitve z odlagališčem na nasipu ali v vkopanih silosih. Vse te rešitve so bile osnova za ekspertne ocene tehničnih možnosti in stroškov izvedbe posameznih tipov odlagališč na posameznih proučevanih potencialnih lokacijah. Podrobnejše načrtovanje zahteva več informacij o posamezni konkretni lokaciji in zato na tej ravni seveda ni bilo možno.

### **UMEŠČANJE ODLAGALIŠČA NIZKO IN SREDNJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV V SLOVENIJI**

#### **Zgodovina in predzgodovina**

Jedrska elektrarna Krško je bila zgrajena ob podmeni, da bo odlagališče za nizko in srednje radioaktivne odpadke (v nadaljnjem: NSRAO) zgrajeno v Sloveniji ali v Hrvaški do leta 1986. Temu je bilo prilagojeno dimenzioniranje operativnega skladišča elektrarne.

V Sloveniji imamo že za seboj en neuspešen poskus prostorskega umeščanja odlagališča NSRAO. V letih 1985-1990 so najprej potekale metodološke študije in priprave za izvedbo standardnega štiristopenjskega postopka prostorskega umeščanja: 1) zasnova postopka, 2) pregled celotnega v umeščanje zajetega območja, 3) izbira lokacije, in, 4) potrditev lokacije. V letih 1990-1993 pa so bile izvedene njegove prve tri stopnje s tehničnimi kriteriji. Postopek se je zaključil leta 1993 z uporabo krajanov Leskovca v občini Krško. Ti o postopku prej niso bili obveščeni in so zato pridržali novinarja, ki je želel v tem kraju posneti lokacijo potencialnega odlagališča.

### **Kombinirani pristop**

Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO) je zato v letu 1996 proučila razloge prvega neuspeha in pripravila izhodišča, na katerih so bili zasnovani postopek izbora lokacije odlagališča, njegove na generični ravni opredeljene idejne rešitve in pristop k ocenjevanju lastnosti in varnosti odlagališča. S priporočili Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA) skladna zasnova kombiniranega postopka izbora lokacije naj bi omogočila njegovo uspešnost.

V okviru tega pristopa je bilo najprej izveden pregled celotnega ozemlja Slovenije in njegova členitev v kategoriji bolj primerno in manj primerno. Ta faza, ki je ustrezala 2. fazi postopka umeščanja po priporočilih IAEA, je omogočila uvrstitev odlagališča NSRAO v dokumente državnega strateškega prostorskega načrtovanja (Strategija prostorskega razvoja Slovenije in Prostorski red).

Odlagališče NSRAO je po naši zakonodaji opredeljeno kot jedrski objekt, ki se skladno z določili predpisov s področja urejanja prostora načrtuje kot prostorska ureditev državnega pomena. Skladno z določili predpisov o graditvi objektov pa je objekt gospodarske javne infrastrukture. Na tej osnovi je bil ob koncu leta 2004 sprejet Program priprave državnega lokacijskega načrta za odlagališče NSRAO [3], ki je v podrobnosti opredelil postopka izbora in potrditve lokacije, to je, 3. in 4. fazo postopka umeščanja po priporočilih IAEA.

Težišče je bilo dano ponudbi lokacij s strani za umestitev odlagališča zainteresiranih občin in v teh občinah ugotovljeni družbeni sprejemljivosti. Vsi tehnični vidiki so bili potisnjeni v ozadje in so služili kot sekundarni dejavniki izbora. Odločilni so postali le v primeru, ko posamezni tehnični parametri niso dosegli minimalnih zahtevanih standardov. Tedaj so ti vidiki postali izločilni.

V letu 2005 se je v postopek izbora lokacije prijavilo 8 od 194 povabljenih slovenskih občin. Šest izmed njih je predlagalo skupno iskanje lokacije z ARAO, dve pa sta predlagali lokaciji po lastnem izboru. Še preden smo utegnili začeti z deli, se je ena izmed slednjih že umaknila iz postopka. Pri opredeljevanju potencialnih lokacij in njihovem vrednotenju so bili nekateri dejavniki tudi izločilni (ti so: poplavnost, nestabilnost in erodibilnost, zaščita vodnih virov, konfliktnost z varstvom okolja in kulturne dediščine, potrebna velikost, poseljenost). Ob teh omejitvah v eni izmed prijavljenih občin nismo mogli najti primerne lokacije, v eni pa je bila visoka uvrstitev v njej evidentiranih lokacij zaradi zakonskih in drugih omejitev ocenjena kot zelo malo verjetna. Zaradi tega sta se iz nadaljnega postopka umaknili tudi ti dve občini. V preostalih 5 občinah smo skupno opredelili 12 lokacij, ki so se občinam zdele dovolj sprejemljive, da so pristale na njihovo vključitev v postopek primerjalnega vrednotenja.

Na tej osnovi smo v letu 2005 s Predprimerjalno študijo [4] za nadaljnji postopek predlagali 3 lokacije v občinah Sevnica, Krško in Brežice. Nadaljevanje del na teh lokacijah je ob koncu leta 2005 potrdila tudi Vlada RS. Žal se je občina Sevnica zaradi upora dela krajanov že v začetku leta 2006 umaknila iz postopka. Občina Brežice pa je v avgustu istega leta iz enakih razlogov umaknila dovoljenje za dela na lokaciji Globoko, vendar hkrati sklenila, da bo z ARAO poskušala najti primernejšo lokacijo.

Program priprave DLN za odlagališče NSRAO dopušča, da lahko do potrditve lokacije v vsakem trenutku vsaka občina prijavi novo lokacijo. ARAO jo je dolžen pregledati in ovrednotiti po metodologiji Predprimerjalne študije. Tako je občina Brežice v letu januarju 2007 predlagala novo lokacijo. ARAO je z novo Predprimerjalno študijo [5] ugotovil, da je lokacija kljub poplavnosti lahko ob rešitvi s tem povezanega prostorskega konflikta primerna za nadaljnji postopek. Vlada RS je ob koncu leta 2007 odobrila tudi nadaljevanje del na tej lokaciji.

Zaradi vsega navedenega je od leta 2005 kontinuirano v postopku le potencialna lokacija Vrbina v občini Krško. Nova potencialna lokacija Vrbina, Gornji Lenart v občini Brežice pa je v postopku šele od leta 2007 ter je v temu primerni postopkovni zamudi. Če bo postopek v zvezi s potencialno lokacijo Vrbina v občini Krško potekal brez večjih zastojev je zato ta v nedvoumni procesni prednosti.

Ob koncu pa je treba opozoriti, da Program priprave DLN za odlagališče NSRAO dopušča sodelujoči umik pristanka za nadaljnje sodelovanje do njene potrditve Predloga državnega prostorskega načrta za odlagališče NSRAO. Če občina ta predlog dokončno zavrne in se umakne iz postopka, je v tej občini postopek umeščanja zaključen. Zato procesna prednost lokacije Vrbina v Krškem ni absolutna. Še za nobeno obravnavano lokacijo ni potrditve, da bo v lokalnem okolju sprejeta. Verjamemo sicer, da bomo v občini Krško dosegli soglasje za umestitev odlagališča. A gotovosti ni.

### **Opredelitev lokacije odlagališča**

Glede na v prejšnjem poglavju podano stanje postopka, se bomo v nadaljnjem prikazu omejili na predstavitev dosežkov na lokaciji Vrbina v občini Krško. Lokacija leži na aluvialni ravnici med višinskima kotama 152 in 154 m izven v državnih prostorskih registrih opredeljenih poplavnih območij. Je pa gotovo poplavna na ravni nekaj stoletnih do tisočletnih vod.

Pri odlagališčih radioaktivnih odpadkov je nujno potrebno ločiti med ožjo lokacijo in njeno okolico. Ožja lokacija zajema območje odlagališča, njeno okolico pa celotno območje, ki prekriva sklop geoloških plasti, skozi katere bi lahko radioaktivne snovi dosege biosfero in človekovo okolje. Postopek prostorskega umeščanja odlagališča NSRAO je s prostorsko zakonodajo v celoti usmerjen in omejen le na ožjo lokacijo in to opredeljuje kot lokacijo odlagališča. Predpisi s področja jedrske in sevalne varnosti ter mednarodna priporočila pa zahtevajo obravnavo in ovrednotenje poti razširjanja radioaktivnih snovi do biosfere in zato tudi proučitev njene okolice. V nadaljnjem prikazu se bomo tu omejili na ožjo lokacijo oziroma na lokacijo odlagališča.

V slovenskih tranzicijskih razmerah povzroča potencialnost lokacije Vrbina v občini Krško ARAO dodatne probleme. Zaradi denacionalizacije uveljavljeno lastništvo v prostorsko neopredeljivih deležih in zaradi z postopki dedovanja povezane lastniške negotovosti ARAO na lokaciji ne more izvesti raziskovalnih vrtin in vseh z njimi povezanih del. Izvedli pa smo površinska geofizikalna del in vsa ostala površinska terenska raziskovalna dela. Kljub vsemu sta bili tik ob vzhodnem robu lokacije izvrtani dve vrtini do globine 30 m, 150 m severovzhodno od lokacije še dve vrtini do 30 m in do 170 m, 700 m južno pa dve vrtini do 30 m in do 140 m. Okrog 400 m jugo-jugozahodno sta bili za potrebe NE Krško izvrtani poleg vrste plitvejših vrtin tudi dve 100 m globoki vrtini za izvajanje cross-hole meritev. Še malo dalje stran pa je bila do globine 30 m izvedena gradbena jama jedrske elektrarne, do nekaj manjše globine pa še gradbena jama njenega jezua na reki Savi.

Površino lokacije gradi 6-7 m debel sloj savskega holocenskega proda s horizontom podtalnice v globini 3-4 m. Pod njim nastopa zbit pontijski (miocenski) muskovitno-karbonatni melj do peščeni melj z vpadom plasti 20-30° proti jugu. Te plasti tvorijo sinklinalo z osjo vzporedno reki Savi. Južno od lokacije nastopa med kvartarnimi in pontijskimi plastmi še skladovnica pliokvartarnih glin in prodov, ki doseže tik ob Savi globino 90 m (debelina > 80 m) še pred južnim robom lokacije pa se izklini. Razširjenost pliokvartarnih plasti je znana tudi pod Krško-brežiškim poljem na desnem bregu Save, ni pa znana njihova debelina. Vzhodno od lokacije je bila z geofizikalnimi raziskavami in z vrtanjem v pontijskih plasteh ugotovljena porušena cona, ki predstavlja nadaljevanje na bližnjem griču Libna odkrite cone. Vendar je bilo hkrati ugotovljeno, da pri tej coni ne gre za aktivni prelom.

Po hidroloških študijah doseže maksimalna verjetnostna poplava (MPF) koto 157 m. Holocenski prod ima prepustnost  $k > 1 \cdot 10^{-7}$  m/s z gradientom toka jugovzhodu oziroma proti Savi. Pontijske plasti imajo prepustnosti v mejah  $1 \cdot 10^{-9} < k \leq 1 \cdot 10^{-7}$  m/s, gradient podtalnice v njih pa ni natančno določen. V generičnih modelih je bil privzet kot robni pogoj gradient v kvartarnem sloju, tok podzemne vode pa usmerjen vzdolž plasti prečno na os sinklinalne. Dejstvo pa je, da predstavlja reka Sava pri Krškem regionalno drenažo podzemnih vod in izkušnje kažejo, da so v takih primerih tokovi podzemnih vod večinoma usmerjeni v smeri regionalne drenaže ne pa vzdolžno z njo. Rezultati monitoringa nivojev podzemne vode v pontskih plasteh v obeh globokih vrtinah postavljajo uporabljeni generični model toka podzemne vode v pliocenskih plasteh pod vprašaj, zato ga bo treba preveriti z nadaljnjimi deli.

Iz geološko-geomehanskega modela lokacije sledi, da nastopa na lokaciji v globinah, ki so zanimive za izgradnjo pripovršinskega odlagališča menjavanje lamin muskovitno-karbonatnega in peščenega melja, občasno tudi meljastega peska trdne konsistence in zgornje pontijske starosti. Preperela cona pod kvartarnim prodromom je debela od nekaj dm do 2 m in ni bila posebej izločena. Za te plasti so bili ugotovljeni naslednji geomehanski parametri: naravna vlažnost zemljine  $w = 22.8 \%$ , naravna prostorninska teža:  $19,6 \text{ kN/m}^3$ , kot notranjega trenja:  $\varphi=37^\circ$ , kohezija:  $C=9,7 \text{ kPa}$ , enoosna tlačna trdnost:  $Q_u=290 \text{ kPa}$ , nedrenirana strižna trdnost:  $\tau=84 \text{ kPa}$ , modul stisljivosti:  $M_v= 5,8-10,2$  (pri  $0,2 \text{ MPa}$ ),  $21 \text{ MPa}$  (pri  $0,4 \text{ MPa}$ ) in  $54 \text{ MPa}$  (pri  $1,6 \text{ MPa}$ ), deformacijski modul:  $E1= 79 \text{ MPa}$  ter moduli  $M_{v,d}=4,4-5,1 \text{ GPa}$ ,  $M_{sh,d}=1,6-1,8 \text{ GPa}$ ,  $M_{c,d}=8,4-10,8 \text{ GPa}$ . Rezultati raziskav za karakterizacijo NE Krško kažejo sorodne vrednosti fizikalnih, strižnih in deformacijskih lastnosti zemljin, kar kaže na geomehansko v grobem homogeno ozemlje. Pred kratkim izvedeni poskusi izvajanja standardnih penetracijskih poskusov v plitvi vrtini ob zahodnem robu lokacije zaradi zbitosti plasti peščenega melja niso uspeli. Pri izvajanju teh poskusov v podobnih plasteh na potencialni lokaciji v Brežicah, so bili tam sedimenti ocenjeni kot prekonsolidirani. Možna je torej njihova prekonsolidiranost tudi na tej lokaciji.

Čeprav na sami lokaciji nismo mogli izvesti vseh del, je lokacija glede na sedanje stanje postopka in zanj potrebnih dokumentov (projektnih osnov, strokovnih osnov za primerjalno študijo variant, posebne varnostne analize po Zakonu o varstvu pred sevanji in jedrski varnosti, okoljskega poročila za CPVO, študije variant in idejnih zasnov) kljub vsemu dovolj preiskana. Za primer lahko vzamemo primer odlagališča NSRAO na lokaciji Kincardine v Kanadi, kjer so na enaki stopnji postopka za izbor optimalne variante naredili primerjalno analizo med površinskim, pripovršinskim in globinskim odlagališčem na podlagi razmeroma podrobnih podatkov za nekaj deset metrov debel morenski površinski pokrov in v krogu do  $100 \text{ km}$  okrog odlagališča pridobljenih podatkov o lastnosti kamnin v njegovi kamninski podlagi. Kot optimalno varianto so na tej podlagi izbrali varianto globinskega odlagališča.

### **Karakterizacija lokacije**

Potrebe nadaljnjega projektiranja bodo zahtevale podrobnejšo karakterizacijo lokacije odlagališča in pridobitev podatkov, ki trenutno za pontijske plasti na tej lokaciji še manjkajo (in-situ verifikacija vseh geomehanskih lastnosti, določitev stopnje anizotropije, določitev tokovnega polja podzemne vode, geokemijski in hidrogeokemijski parametri in njihovo ovrednotenje).

Načelno je zgradba okolice lokacije enostavna in znana. Vendar so nove ugotovitve v zvezi s položajem pliokvartarnih plasti južno od lokacije in razhajanje med geološkimi ekspertnimi prognozami za okrog  $3 \text{ km}$  oddaljeno lokacijo Vrbina, Gornji Lenart v občini Brežice pokazali, da sta strukturni položaj in obseg razširjanja pliokvartarnih plasti pod Krško-brežiškimi poljem še nerazjasnjena, tokovno polje podzemne vode v njih pa brez direktnih merskih podatkov le ocenjeno. Slabo znani ali neznanzi so na tem območju tudi nekateri za prenos snovi s podzemno vodo pomembni fizikalni in kemični parametri pontijskih (miocenskih) plasti. Ni dvoma, da bo zato vrsta negotovosti pri detajlni geološki zgradbi in parametrih prenosa snovi zahtevala dodatno proučitev njene okolice.

### **Odlagališče po meri lokacije**

Iz predhodnih generičnih študij odlagališča so bile za primerjalni študijo variant podrobno proučene naslednje variante odlagališča NSRAO: 1) varianta pripovršinskega odlagališča z do  $50 \text{ m}$  globoko vkopanimi silosi kot odlagalnimi objekti (varianta B), 2) varianta podzemnega odlagališča z odlagalnimi objekti v  $80 \text{ m}$  globoko izvedenih rovih (varianta D), in, 3) varianta površinskega s odlagalnimi zgradbami na nasipu (varianta E).

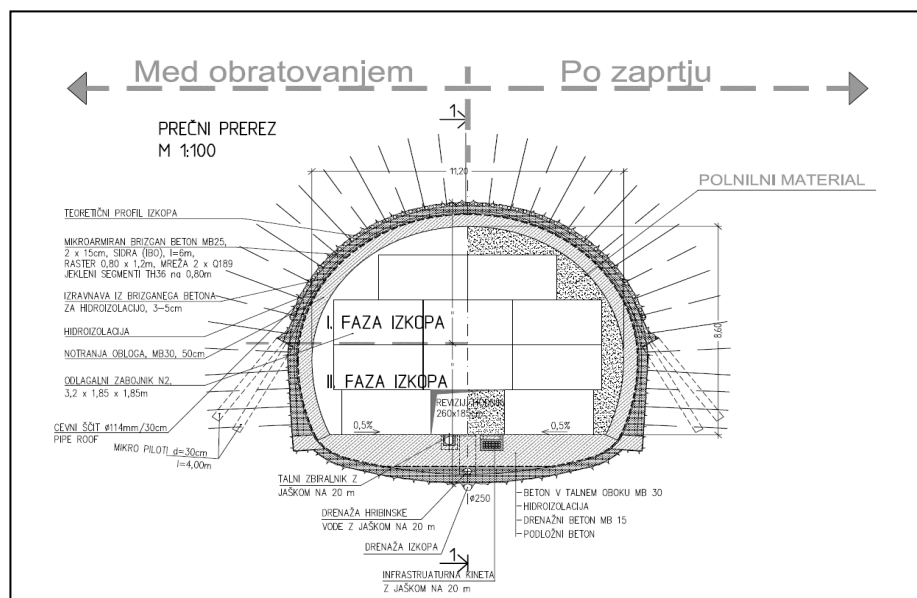
Variante A (odlagalni objekti v okroglih silosih vkopanih do globine  $80 \text{ m}$ ) in varianta C (odlagalni objekti v podzemno izvedenih silosih) sta bili s strani IBE na osnovi ekspertne presoje v geoloških razmerah lokacije Vrbina v občini Krško že ob same začetku ocenjeni kot neizvedljivi in zato za potrebe primerjalne študije variant nista bili podrobneje obdelani.

Pri varianti z vkopanimi silosi predstavljajo odlagalni prostor vkopani silosi s premerom ca  $26 \text{ m}$  in končno globino  $50 \text{ m}$  pod površjem terena (k.  $153 \text{ m}$ ), zgrajeni na ustrezni medsebojni razdalji (ca  $45 \text{ m}$  osno). Silosi so med obratovanjem dostopni z vrha, to je, s platoja na protipoplavnem nasipu, kjer je predvidena prekrivna konstrukcija (montažna dvorana) z dvižno napravo. V silos je možno namestiti  $10$  slojev





Varianta z odlaganjem v podzemnih rovih (Varianta D) predvideva odlaganje v rove preseka 11 x 8,5 m in dolžine 80 m na medsebojni razdalji 30 m, izvedenih v globini 85 m pod koto današnjega terena (k. 153 m). Do odlagalnih rovo je speljan skupni pristopni tunnel notranjega preseka 7 x 7 m, ki poteka od nivoja protipoplavnega platoja v enakomernem vzdolžnem nagibu 15%. Poleg pristopnega rova skrbi za zračenje delujočega odlagališča še zračilni jašek. V odlagalne rove bi odlagali zabojnike manjših dimenzij, saj zabojnikov s 55 tonami ne bi mogli pripeljati do odlagalnih rovo. Varianta D z odlagališčem v podzemnih rovih je prikazana na sliki 4.



**Slika 4.** Varianta D med obratovanjem in po obratovanju

### Primerjalna študija variant in izbor optimalne variante

Variante B, D, in E so bile v kasnejšem postopku primerjane najprej v Posebni varnostni analizi (PVA), po metodologiji, predpisani s strani Uprave Republike Slovenije za jedrsko varnost, nato pa še v Primerjalni študiji variant, po zanjo predpisani metodologiji. Posebno varnostno analizo je izdelala DDC s pomočjo ARAO in ob upoštevanju ugotovitev po s strani Mednarodne atomske agencije (IAEA) priporočeni metodologiji ISAM izdelane PA/SA analize, ki sta jo izdelala ZAG in GeoZS. Primerjalno študijo variant pa sta izdelala ACER in Savaprojekt. Analize so kot optimalno varianto ocenilo varianto v podzemnih silosih. Varianta E je zaostajala pri sevalni varnosti in prostorskih vplivih, prednjačila pa pri pričakovanih stroških. Varianta D pa je zaradi večje obratovalne varnosti v primeru izjemnih dogodkov ocenjena nekoliko ugodnejše z vidika sevalne varnosti, bila je pa zato ocenjena izrazito slabše (po PVA kot nesprejemljiva) s stroškovnega vidika. Varianta B se je tako pokazala kot optimalen kompromis med povečano varnostjo in stroški. Pomembno je bilo, da je bila glede sevalne varnosti za okolisko prebivalstvo enakovredna varianti D.

### LITERATURA

- (1) Resolucija o Nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim jedrskim gorivom za obdobje 2006-2015 /ReNPROJG/, Ur.l.RS, 15/06, (2006)
- (2) Program razgradnje NEK in odlaganje NSRAO in IJG, ARAO-APO, T-1123/03, (2004)
- (3) Program priprave državnega lokacijskega načrta za odlagališče nizko- in srednje- radioaktivnih odpadkov, Ur.l.RS 128/04, (2004)
- (4) Predprimerjalna študija za izbor treh potencialnih lokacij za odlagališče NSRAO, ARAO-T-2134-3/2, revizija 1, oktober 2005, (2005)
- (5) Predprimerjalna študija za izbor dopolnilne potencialnih lokacije za odlagališče NSRAO, ARAO, junij 2007, (2007)