

## POTREBA ZA OSNIVANJEM PODZEMNOG ISTRAŽIVAČKOG LABORATORIJA U HRVATSKOJ

## NECESSITY FOR UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY IN CROATIA

ŽELIMIR VEINOVIĆ, BILJANA KOVAČEVIĆ ZELIĆ, KAROLINA GRADIŠKI

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

**Ključne riječi:** podzemni istraživački laboratorij, odlagalište, radioaktivni otpad

**Key words title:** underground research laboratory, repository, radioactive waste

### Sažetak

Nuklearna elektrana Krško (NEK) ima dozvolu za rad do 2023. godine, a prema postojećim sporazumima između Republike Hrvatske i Republike Slovenije, svaka država je dužna zbrinuti polovinu radioaktivnog otpada nastalog tijekom rada i nakon razgradnje NEK. Sigurno trajno zbrinjavanje visokoradioaktivnog otpada i istrošenog goriva predstavlja jedan od najvećih problema suvremene civilizacije. Najbolji način za dokazivanje sigurnosti odlagališta, što ujedno predstavlja i najvažniji argument u procesu ovlašćivanja budućeg odlagališta, jest razvijen podzemni istraživački laboratorij (PIL). PIL otvoren za međunarodnu suradnju i istraživanja bi sigurno unaprijedio međunarodnu prepoznatljivost i kredibilitet hrvatskog programa za gospodarenje radioaktivnim otpadom, jednako kao i razmjenu rezultata znanstvenih istraživanja široj znanstvenoj zajednici.

### Abstract

Nuclear power plant (NPP) Krško has a license to operate until 2023, and under the current agreement between the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia, countries are bound to dispose one half of radioactive waste produced during the operation time and after decommissioning of NPP each. Safe long-term management of high level radioactive waste and spent fuel represents one of the most important issues of the modern world. The best way to provide practical demonstration of repository's safety, which will be one of convincing arguments in the process of licensing future repository, is developed underground research laboratory (URL). Existence of URL open to international co-operation would certainly improve the international recognition and credibility of Croatian programme, as well as allow dissemination of scientific research results to a broader scientific community.

### 1. Uvod

Program gospodarenja radioaktivnim otpadom (RAO) Republike Hrvatske (RH) uključuje zbrinjavanje RAO iz:

- medicine;
- istraživanja;
- dojavljivača dima i radioaktivnih gromobrana;
- nuklearne elektrane Krško (NEK).

Postojeći otpad, odnosno izvori ionizirajućeg zračenja, trenutno je uskladišten u Institutu Ruđer Bošković i Institutu za medicinska istraživanja u Zagrebu. Radioaktivni otpad može u navedenim skladištima biti samo privremeno pa to nikako ne predstavlja trajno rješenje za njegovo zbrinjavanje.

NEK ima dozvolu za rad do 2023. godine. Premda je moguće da se dozvola za rad produži, što se gotovo redovito događa prema svjetskim iskustvima, ipak će u rela-

tivno kratkom razdoblju postati nužno pronaći lokacije za izgradnju odlagališta RAO nastalog tijekom rada i nakon razgradnje elektrane. Republika Hrvatska prema sporazumom s Republikom Slovenijom mora zbrinuti polovinu RAO, kako nisko i srednjeradioaktivnog (NSRAO), tako i visokoradioaktivnog otpada (VRAO), odnosno istrošenog goriva. Situacija je tim složenija uzme li se u obzir da je skladište NSRAO unutar NEK već gotovo prepunjeno premda je volumen otpada reduciran spaljivanjem i superkompaktiranjem. Istrošeno gorivo trenutno se nalazi u bazenu s bornom vodom koji ima dovoljan kapacitet čak i za produženi radni vijek elektrane.

Republika Slovenija krenula je u proces izbora lokacije (slika 1) i izgradnje odlagališta NSRAO (EGE, 2010).

Projekt odabira lokacije odlagališta RAO u Hrvatskoj započet je još 1979. godine (Schaller, 1997). Ozbiljnije se ovom problemu pristupilo tek 1988. godine kada su definirane metode i kriteriji odabira lokacije, a 1991. go-

dine započeo je i hrvatski projekt „4 preferentne lokacije“ (Schaller, 1997). Aktivnosti su nažalost prestale krajem devedesetih godina prošlog stoljeća, odnosno početkom ovog stoljeća. Kao rezultat projekta dana je karta sa sedam potencijalnih (slika 2) i dvije preferentne lokacije (slika 3). Važno je napomenuti da se tada tražilo potencijalne lokacije samo za odlagalište NSRAO, a ne i za VRAO i istrošeno gorivo.

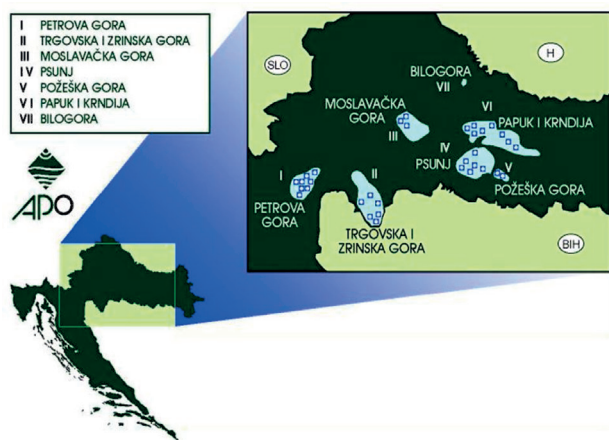
U ovom trenutku nije do kraja jasno definirano hoće li Hrvatska plaćati zbrinjavanje RAO u drugoj državi (Slo-

venija ili neka druga) ili će sama ući u dugotrajan i složen posao izgradnje odlagališta. Jedna od opcija je svakako i podjela otpada nastalog u NEK, gdje bi Slovenija prihvatila odlaganje NSRAO, a Hrvatska VRAO. Premda se ova opcija čini naizgled nepovoljnom za Hrvatsku, količina VRAO je mala u odnosu na količinu NSRAO, a i „ponašanje“ VRAO je predvidljivije, obzirom na poznati i homogeni sastav, u odnosu na pepeo, organsku tvar, plastiku, papir i druge materijale koji se nalaze u sastavu NSRAO.



Slika 1. Lokacija budućeg slovenskog odlagališta nisko i srednjeradioaktivnog otpada, u neposrednoj blizini NEK (EGE, 2010).

Figure 1. Site of the future Slovenian repository for low and medium radioactive waste, in the immediate vicinity of nuclear power plant Krško (EGE, 2010).



Slika 2. Potencijalne lokacije odlagališta nisko i srednjeradioaktivnog otpada unutar sedam potencijalnih područja (Schaller, 1997).

Figure 2. Potential sites for low and medium radioactive waste repository within the seven potential areas (Schaller, 1997).



Slika 3. Preferentne lokacije odlagališta nisko i srednjeradioaktivnog otpada (Schaller, 1997).

Figure 3. Preferred sites for low and medium radioactive waste repository (Schaller, 1997).

Sigurnost je svakako nužan i najvažniji zahtjev kojega treba zadovoljiti prilikom izgradnje odlagališta RAO. Uzme li se u obzir da je razdoblje u kojemu treba osigurati funkcionalnost odlagališta visokoradioaktivnog otpada (VRAO) oko milijun godina, jasno je da se izgradnja takvog objekta nalazi u samom vrhu svjetskih tehničko-tehnoloških problema.

Suvremeni koncept odlaganja VRAO u duboka geološka odlagališta uključuje njegovo trajno i sigurno pohranjivanje u geološku matricu (stijenu) uz primjenu inženjerskih barijera, što pruža višestruko pouzdanu izolaciju otpada te zaštitu ljudi i okoliša. Cjelokupni sustav je planiran kao pasivno siguran kroz dugo vremensko razdoblje, kako bi predstavljao minimalni teret budućim naraštajima.

Jedan od najvažnijih dijelova modernih nacionalnih programa zbrinjavanja RAO je izgradnja podzemnih

objekata u kojima se provodi karakterizacija (stijene i drugi materijali) te ispitivanja i razvoj potrebnih tehnologija. Takvi objekti su poznati kao podzemni istraživački laboratoriji – PIL (Underground Research Laboratories – URL's) i neophodni su za dobivanje relevantnih znanstvenih i tehničkih informacija, kao i praktičnog iskustva potrebnog za projektiranje i izgradnju odlagališta.

S obzirom da je još uvijek pitanje za koju opciju zbrinjavanja RAO će se Hrvatska odlučiti otvoreno (izvoz RAO ili izgradnja vlastitog odlagališta), da trenutno ne postoji mogućnost dogovora oko regionalnog odlagališta, te da sve zemlje s nuklearnim programom razvijaju ideje za primjenjive projekte odlagališta, Hrvatska bi također što prije trebala ponovno pokrenuti program zbrinjavanja RAO. Jedan od najvažnijih elemenata u tom nastojanju je i izgradnja PIL-a. S obzirom na iskustva hrvatskih stručnjaka u izgradnji podzemnih prostorija (oko 100 km cestovnih tunela, od kojih su mnogi izgrađeni u posljednjih 25 godina), PIL je moguće relativno brzo projektirati i izgraditi.

Uz navedeno, ne smije se zaboraviti činjenica da PIL ne mora biti objekt izgrađen isključivo za potrebe budućeg odlagališta RAO, jer mu je namjena primarno istraživačko-znanstvena te se može koristiti i u druge svrhe, a postojanje modernog PIL-a svakako znači mogućnost veće suradnje s međunarodnim znanstvenim krugovima.

## 2. Podzemni istraživački laboratorij

### 2.1. Postojeći svjetski laboratoriji

Interesne skupine u procesu zbrinjavanja RAO su brojne (NEA, 2001):

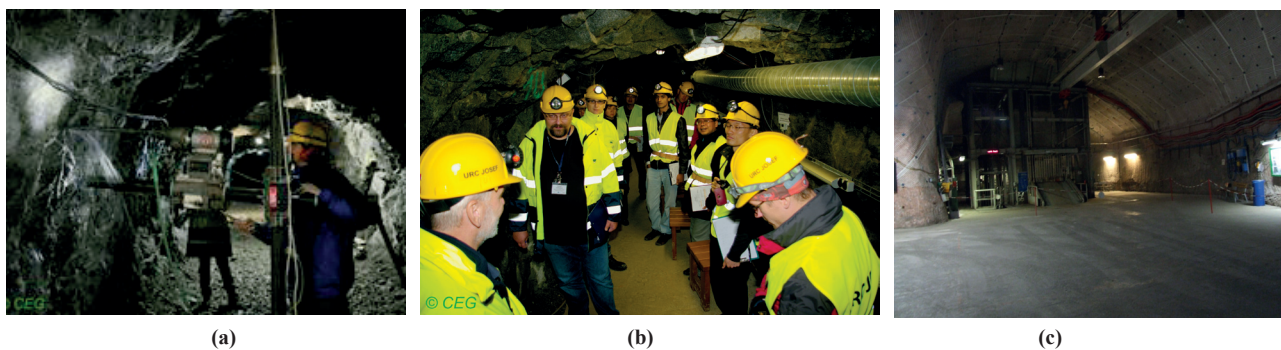
- upravna i nadzorna tijela;
- širi znanstveni i tehnički krugovi;
- političari;

- organizacije vezane uz zaštitu okoliša;
- lokalno stanovništvo (na predviđenim budućim lokacijama odlagališta);
- Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA);
- ...
- šira javnost.

Svi navedeni su zainteresirani za mogućnosti i kvalitetu izrade odlagališta, trajnost pojedinih elemenata i odlagališta u cjelini, pouzdanost i sigurnost složenih barijera za zaštitu ljudi i okoliša. Ako ne jedini, onda svakako najbolji način za demonstriranje pouzdanosti projektnih rješenja, trajne sigurnosti i izrade dubokih geoloških odlagališta RAO jest praktična demonstracija vitalnih, funkcionalnih elemenata odlagališta u naravnoj veličini u okviru PIL-a (Tono Geoscience Center, 2002).

Terenski i laboratorijski istraživački radovi, kao i druga istraživanja mogu pokazati pouzdanost budućih odlagališta, ali PIL-ovi su nezamjenjivi iz slijedećih razloga:

- Razvijaju se za istraživanja i testiranja objekata i sustava u naravnoj veličini pod kompatibilnim uvjetima sredine, koji se ne mogu dobiti u laboratorijima (slika 4a);
- Objekti nisu namijenjeni samo istraživačkom radu, već i treninzima/obuci tijekom čega se mogu prepoznati i riješiti brojni problemi prije nego se pojave prilikom izgradnje i/ili uporabe odlagališta (slika 4b);
- interesne skupine mogu steći veće povjerenje u program ukoliko vide određene faze odlaganja otpada, ispitivanja i nadzor koji se provode u istraživačkom objektu prirodne veličine u stvarnom geološkom okruženju pod realističnim uvjetima poput onih u odlagalištu (slika 4c).



Slika 4. (a) Istraživački rad u podzemnom objektu za edukaciju UEF Josef, Češka (foto: CEG); (b) Poduka polaznika jedne od radionica u organizaciji međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) u podzemnom objektu za edukaciju Josef, Češka (foto: CEG); (c) Okno u Goreleben-u, Njemačka.

Figure 4. (a) Testing at Underground Educational Facility (UEF) Josef, Czech Republic (photo: CEG); (b) Training during the workshop organized by IAEA at UEF Josef, Czech Republic (photo: CEG); (c) Shaft at Goreleben, Germany.

Jedna od najvažnijih svrha PIL-ova svakako je razvoj tehnike, odnosno tehnologija potrebnih za odlaganje RAO. Bez obzira na iskustvo stručnjaka i na to koliko

odlagalište nalikovalo rudniku ili nekom drugom podzemnom objektu, postoji cijeli niz specifičnih problema i osobitosti u projektu odlagališta RAO koji se moraju

proučiti i riješiti. Tako je moguće primijeniti neke od metoda korištenih u tunelogradnji i izradi rudnika, ali jedino uz modifikacije, kako bi se u što većoj mjeri sačuvao strukturni integritet stijenske mase. U konačnici, PIL-ovi mogu pomoći boljem razumijevanju geoloških, hidrogeoloških, inženjerskegeoloških, geomehaničkih, kemijskih i termalnih karakteristika sredine koje će utjecati na dugotrajno ponašanje prirodnih i inženjerskih barijera (Elsworth i dr., 2003; NEA, 2001; Gunnarsson i dr., 2007).

Osnovna podjela PIL-ova je (McCombie, Tveiten, 2004):

- Generički PIL-ovi koji se grade uz iskorištavanje postojećih podzemnih objekata/iskopa;
- Generički PIL-ovi razvijeni za istraživanja, ispitivanja i tečajeve na lokaciji koja nije namijenjena za buduće odlagalište RAO;
- PIL-ovi izgrađeni na potencijalnim lokacijama budućeg odlagališta RAO.

Generički PIL-ovi daju informacije koje se, najčešće, mogu primijeniti na druge (potencijalne) lokacije, a grade se u slučajevima kada lokacija budućeg odlagališta nije određena (McCombie, Tveiten, 2004).

## 2.1. JOSEF – podzemni objekt za edukaciju

Podzemni objekt za edukaciju (Underground Educational Facility – UEF) *Josef* nije podzemni istraživački laboratorij u užem smislu. Organizirao ga je i njime upravlja Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University – CTU u Pragu. Primarno je razvijen za obrazovne svrhe za studente CTU-a, ali jednako tako osigurava prostor i uvjete za različita ispitivanja, odnosno prostor za osnovne tečajeve vezane za projektiranje odlagališta RAO (slika 5).



Slika 5. Ugradnja osjetila za insitu mjerenje temperature u stijeni u UEF Josef.

Figure 5. Installation of sensors for in-situ measurement of temperature in rock at UEF Josef.

UEF Josef je izgrađen u okviru bivših istraživačkih rudarskih radova izvedenih u zlatonosnom ležištu. Nalazi se 50 km južno od Praga između sela Čelina i Smilovice. Ukupna duljina glavnog hodnika je 1836 m, a njegov poprečni presjek ima površinu od 14-16 m<sup>2</sup>. Nadsloj je debljine 90-110 m, a geološka struktura je prilično složena te se sastoji od bazalta, andezita, riolita, hornfelsa, tufova, tufita, granodiorita, granita (Vašiček, Svoboda, 2009).

Jedna od najvećih koristi koju pruža ovaj objekt svakako je osnovna obuka i obrazovanje iz područja projektiranja odlagališta RAO. U suradnji s IAEA-om i ITC School of Underground Waste Storage and Disposal – Švicarska, organizirano je više tečajeva za stručnjake iz velikog broja država koje razvijaju program zbrinjavanja RAO. Tijekom tečajeva i radionica polaznici su usvojili niz teorijskih i praktičnih znanja iz raznih znanstvenih i inženjerskih područja, kao i principe donošenja odluka te komunikacijske tehnike koje se koriste u kontaktima s interesnim skupinama, koja su u vezi s podzemnim zbrinjavanjem RAO i sličnim problemima u inženjerstvu zaštite okoliša.

Praktični dio treninga uključivao je više zadataka vezanih uz istraživačke radove, ugradnju otpada i naknadnog opažanja (slika 6).



Slika 6. Poduka za ugradnju bentonita.

Figure 6. Bentonite installation training.

Još jedna korisna strana ovakvog objekta svakako su in situ istraživanja. Tako se u UEF Josef provodi međunarodni istraživački projekt pod nazivom TIMODAZ - Thermal Impact on the Damage Zone around a Radioactive Waste Disposal in Clay Host Rocks (Xiangling, 2008; Svoboda, Vašiček, 2010).

## 2.2. Mogućnost izrade i primjene PIL-ova u RH

Postoji nekoliko mogućnosti kako započeti izradu podzemnog laboratorija u Hrvatskoj:

- Izgradnja potpuno novog laboratorija na lokaciji na kojoj se do sada nisu izvodili nikakvi zahvati;

- Pretvaranje postojećeg podzemnog objekta (stari radovi – rudnik, započeti nedovršeni tunel i sl.) u laboratorij, uz adaptaciju i prilagođavanje, kao što je učinjeno s UEF „Josef“;
- Izrada laboratorija u sklopu postojećeg kamenoloma (površinskog kopa) u magmatskoj ili metamorfnoj (nekarbonatnoj) stijeni.

Treća navedena opcija – izrada laboratorija u sklopu postojećeg kamenoloma, je najvjerojatnija iz više razloga. Jedan je taj da je odmah na početku poznata geologija lokacije te je lako odrediti odgovara li stijenska masa potrebama laboratorija ili ne, odnosno da li je moguće i uz koje uvjete (podgrađivanje) izvesti laboratorij. Drugi razlog predstavlja situacija u kojoj su se našli malobrojni kamenolomi magmatskih stijena u Hrvatskoj tj. činjenice da je njihovo eksploatacijsko polje došlo do granice parkova prirode. U slučaju da se odobri podzemna eksploatacija, koja ne bi imala utjecaj na okoliš, izrada podzemnog laboratorija postala bi izvediva. Pristupni putovi koji su izrađeni za potrebe kamenoloma u ovom slučaju bi se mogli koristiti i za potrebe laboratorija, kao i druga postojeća infrastruktura. Materijal iskopan tijekom izrade laboratorija je stijenska masa koja ima tržišnu vrijednost, što bi djelomično smanjilo troškove izrade laboratorija. Osim toga, ukoliko bi se pokazalo da je podzemna eksploatacija kamena na određenoj lokaciji moguća, nakon završetka rudarskih radova iskopani podzemni prostori bi mogli poslužiti kao istraživački laboratoriji.

Uzme li se u obzir da laboratorij ne mora nužno biti namijenjen isključivo za svrhu istraživanja vezanih uz buduće odlagalište RAO, postoji cijeli niz drugih potencijalnih namjena. U okviru Sveučilišta u Zagrebu više fakulteta može naći interes u ovakvom projektu. Svakako bi najviše koristi imao Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGN fakultet). Terenska nastava i ljetna praksa koja se do sada organizirala u sklopu studija na RGN fakultetu, oslanjala se prvenstveno na suradnju s tvrtkama koje se bave nekom od sljedećih djelatnosti: rudarstvo, geotehnika, građevinarstvo, geologija i naftno inženjerstvo. Postojanje podzemnog laboratorija omogućilo bi lakše izvođenje terenske nastave i ljetne prakse, a isto tako i znanstvenih, odnosno stručnih istraživanja.

Kao što je već rečeno, osim RGN fakulteta, i brojni drugi fakulteti Sveučilišta u Zagrebu mogli bi imati interes za ovakav. Jednako tako, s obzirom da je podzemni laboratorij rijetko građen objekt, sigurno bi postojao interes i drugih fakulteta, odnosno sveučilišta u Hrvatskoj za suradnju u okviru izrade odnosno korištenja i održavanja laboratorija.

Osim nastave, znanstvenih i stručnih istraživanja, podzemni laboratorij mogao bi predstavljati jedinstveni poligon za cijeli niz tvrtki koje se bave bušenjem, miniranjem, injektiranjem, izradom sustava za podgrađivanje, vjetrenjem, proizvodnjom i ugradnjom mjernih instrumenata i dr. Tvrtkama bi ovakav objekt mogao biti poligon

za demonstraciju proizvoda i tehnologija, što bi u isto vrijeme predstavljalo pomoć pri izradi laboratorija u smislu sponzoriranog izvođenja određenih radova potrebnih za iskop materijala, izradu pojedinih komponenti laboratorija (infrastrukture) i osiguranja podzemnih prostorija. Iskustva iz UEF „Josef“ pokazala su da sponzorstva tvrtki uvelike olakšavaju izvođenje ovakvog projekta, a samim tvrtkama osiguravaju mjesto za ispitivanje novih i predstavljanje postojećih tehnologija i proizvoda (slika 7).

Glavni razlog izgradnje PIL-ova svakako su znanja i iskustva koja se stječu radom u takvom objektu. Tijekom rada odlagališta RAO nužno je osigurati trajnost i funkcionalnost spremnika, bentonitnih i drugih inženjerskih barijera, a jedini način da se to ispita i nauči je rad u istraživačkom objektu, u naravnoj veličini. U realističnoj geološkoj sredini i uvjetima koji se mogu naći u odlagalištu RAO (Åspö Hard Rock Laboratory, 2004; Martin i dr. 2006; NEA, 2001; Martino i dr., 2006). Znanja i iskustva stečena kroz rad i tečejeve u PIL-u svakako su nezamjenjiva, osobito uzmemo li u obzir da se u njima razvijaju različite metode i oprema za podzemnu karakterizaciju i ispitivanje stijenske mase i inženjerskih barijera. Vjerojatno najveće prednosti PIL-ova su ispitivanje i razvoj konceptualnih i numeričkih modela procesa relevantnih za transport radionuklida kroz inženjerske barijere i stijensku masu. Istraživanja provedena u standardnim laboratorijima u većini slučajeva nedostatna su te ne mogu nadomjestiti in situ istraživanja.



Slika 7. Izložci sustava podgrađivanja i oglašavanje sponzorskih tvrtki u UEF Josef.

Figure 7. Exhibits of supporting systems and advertising of sponsor companies at UEF Josef.

Uobičajeni eksperimenti koji se provode u PIL-ovima su: određivanje termalnog utjecaja na bentonit i stijenu, pojava korozije i nastanak plinova (uslijed korozije spremnika), mjerenje propusnosti stijene (na plin i vodu), mjerenje konvergencije podzemnih prostorija, kontinuirana mjerenja naprezanja i deformacije u stijeni i dr.

Donošenjem odluke o izgradnji PIL-a nastaje cijeli niz problema vezanih uz: lociranje, financiranje, rad,

vlasništvo, upravljanje i sl. koje treba riješiti na adekvatan način, uzevši u obzir da suradnja različitih interesnih skupina može biti potaknuta stjecanjem znanja i iskustava.

Putem međunarodne suradnje (URF, 2010) i korištenjem europskih fondova moguće je riješiti pitanje financiranja, ali PIL-ovi predstavljaju jedinstveno mjesto za ispitivanje i demonstriranje rada različitih tehnologija i strojeva koji se koriste u rudarstvu, bušenju, iskopu, ugradnji materijala i sl. Takva ispitivanja i demonstracije mogu biti dio procesa izgradnje/održavanja PIL-a, a svakako su korisne sponzorskim tvrtkama koje ih provode jer služe kao reklama za buduće korisnike.

### 3. Zaključak

Stotinjak kilometara cestovnih tunela izgrađenih u posljednjih dvadesetak godina predstavlja značajnu brojku za Republiku Hrvatsku i samo su jedan od pokazatelja iskustva hrvatskih inženjera u izgradnji podzemnih prostorija. Premda su izgradnja tunela, odnosno rudarski radovi, i izgradnja odlagališta RAO dva slična zadatka koja se donekle razlikuju u tehnologiji, kad i ako se Hrvatska odluči za izgradnju odlagališta RAO, nastat će potreba za većim brojem iskusnih inženjera.

Duga tradicija podzemne eksploatacije mineralnih sirovina u Hrvatskoj trenutno se svela na podzemni rad u kamenolomu „Kanfanar“ gdje se arhitektonsko-građevni kamen eksploatira „komorno-stupnom metodom“, čija je karakteristika izvođenje velikih podzemnih prostorija u nepodgrađenoj stijenskoj masi. Premda je podzemna eksploatacija mineralnih sirovina u Hrvatskoj praktički zanemariva, eksperti iz područja rudarstva još uvijek projektiraju rudarske radove i objekte u susjednim državama.

Hoće li Hrvatska morati izgraditi odlagalište NSRAO i/ili VRAO ovisit će o političkim, ekonomskim i međunarodnim uvjetima, ali sigurno je da Hrvatska mora zbrinuti polovinu otpada iz NEK i privremeno uskladišteni RAO iz medicine, industrije i istraživanja. U svakom slučaju, Hrvatska će se naći u boljoj pregovaračkoj poziciji po pitanju odlaganja RAO u neko buduće regionalno odlagalište ukoliko bude imala razvijen program gospodarenja RAO-m i provedena preliminarna istraživanja vezana uz izbor lokacije.

Razvoj PIL-a jedan je od osnovnih koraka u svakom ozbiljnom programu zbrinjavanja RAO, jer osigurava objekt u kojem se provodi karakterizacija, ispitivanje i razvoj tehnologija. Jednako tako, PIL je izvrsno mjesto za istraživanja i obrazovanje u drugim područjima koja uključuju podzemne eksperimente i radove.

PIL otvoren za međunarodnu suradnju svakako bi unaprijedio međunarodnu prepoznatljivost i kredibilitet hrvatskog programa zbrinjavanja RAO, kao i diseminaciju rezultata istraživanja široj znanstvenoj zajednici.

### 4. Literatura

- Åspö Hard Rock Laboratory 2004. Status Report March – June 2004. Stockholm. SKB. pp. 48.
- EGE, 2010. Odabrana lokacija slovenskog odlagališta radioaktivnog otpada. ENERGETIKA-GOSPODARSTVO-EKOLOGIJA-ETIKA, 2/2010, str. 32-33.
- Elsworth D., Smeallie P., Heuze F. 2003. Final Report: An NSF-Sponsored Workshop on Deep Underground Science and Engineering Laboratories (DUSELs). Alexandria. pp.14.
- Gunnarson D., Moren L., Sellin P., Keto P. 2007. Deep Repository – Engineered Barrier Systems Assessment of Backfill Materials and Methods for Deposition Tunnels. Working Report 2006-64, POSIVA. Olkiluoto. pp.53.
- Martin, P.L., Barcala, J.M., Huertas, F. 2006. Large-scale and long-term coupled thermo-hydro-mechanic experiments with bentonite: the FEBEX mock-up test. Journal of Iberian Geology. 32 (2). Madrid. 259-282.
- Martino J.B., Dixon D.A., Vignal B., Fujita, T. 2006. The Tunnel Sealing Experiment: The Construction and Performance of Full Scale Clay and Concrete Bulkheads at Elevated Pressure and Temperature. TOPSEAL. Olkiluoto. 11-16.
- Matanić R., Lebegner J. (1999), “Croatian Radioactive Waste Management Program: Current Status”, Technologies for the Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Back End Nuclear Fuel Cycle Activities, IAEA, Taejon, Republic of Korea, 30 Aug.-3 Sept. 1999, pp. 8.
- McCombie C., Tveiten B. 2004. A comparative overview of approaches to management of spent nuclear fuel and high level wastes in different countries. NWMO background papers – 7. Institutions and governance. pp.178.
- NEA 2001. The Role of Underground Laboratories in Nuclear Waste Disposal Programmes. Nuclear Energy Agency. OECD. Paris. pp. 47.
- Schaller, A. 1997. Izbor mjesta odlagališta nisko i sredneradioaktivnog otpada u Republici Hrvatskoj. Zagreb: APO, str 17-20.
- Svoboda J., Vašiček R. 2010. Preliminary geotechnical results from the Mock-Up-CZ experiment. Applied Clay Science 47, Elsevier. 139-146.
- Tono Geoscience Center 2002. Master Plan of the Mizunami Underground Research Laboratory Project. Japan Nuclear Cycle Development Institute. JNC TN7410 2003-001. Ibaraki. pp.153.
- URF 2010. Training and Demonstration of Waste Disposal Technologies in Underground Research Facilities. International Atomic Energy Agency – An Iaea Network Of Centres of Excellence. Vienna. pp.4.
- Vašiček R., Svoboda J. (2009), “The Josef Underground Educational Facility – a New Training Opportunity for Students of Geotechnics”, ICEE\_iCEER-2009, Grand Intercontinental Hotel, Seoul, South Korea, August 23-28, 2009, pp. 7.
- Xiangling L. (2008), “TIMODAZ - Thermal Impact on the Damaged Zone Around a Radioactive Waste Disposal in Clay Host Rocks”, (Contract Number: FI6W-CT-2006-036449), Executive Summary of the activities (Mid Term), pp. 14.

## NECESSITY FOR UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY IN CROATIA

Nuclear power plant (NPP) Krško has a license to operate until 2023, and under the current agreement between the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia, countries are bound to dispose of one half of radioactive waste produced during the operation time and after decommissioning of NPP each. Apart from that, Croatia has to start proper waste management (project for disposal) of low and intermediate level radioactive waste produced in medicine, research and industry.

The Republic of Slovenia has already started with the program for the disposal of low and intermediate radioactive waste. The location for the repository is already chosen and preparatory works will probably start within the next couple of years.

Program for the Croatian repository for low and intermediate radioactive waste started in 1988, and was abruptly finished in 2002, with potential locations for disposal site (Trgovska gora and Moslavačka gora) selected. The reason for halting the program was the absence of any public acceptance, and the chosen sites were not approved by the Government and no field work was performed so far. During the work on the program, two options have been considered for a final repository design: near surface engineered burial and subsurface disposal in horizontal tunnel structures

Safe long-term management of high level radioactive waste and spent fuel represents one of the most important issues of the modern world. The state of the art concept of engineered geologic disposal involves the emplacement of such waste in deep underground repositories that provide secure and safe isolation of the waste and the protection of humans and the environment. The engineered system is designed to match the natural geological barrier and to provide primary physical and chemical containment of waste. The overall system is planned to be passively safe in the long term, resting a minimal burden on future generations.

The best way to provide practical demonstration of repository's safety, which will be one of convincing arguments in the process of future repository licensing, is to develop underground research laboratory (URL). There are several stakeholders to whom implementing organizations must demonstrate the future behavior and safety of complex natural and engineered systems at the repository:

regulatory bodies, wider scientific and technical community, political decision makers and the general public. Field studies, experiments performed at the laboratories and other research can show the reliability of the future repository, but URLs are irreplaceable for several reasons. First, URLs are developed for research and testing purposes at life-size objects and the compatible environment conditions, which cannot be properly met in laboratory. Second, URLs are not only experimental facilities, but training facilities as well, where many construction issues can and will be recognized and resolved before they appear during the construction and use of the repository. And third, stakeholders can gain more confidence in the program if they can see certain phases of waste disposal, experiments and monitoring performed at the life-size testing facility in the actual geologic environment under realistic repository conditions.

There are around 100 km of road tunnels in Croatia, which is remarkable length for a country such as ours. Many of them have been built in the last 25 years which clearly indicates that the present generation of Croatian engineers is highly experienced. Although tunneling and construction of repositories are two quite different tasks, there will still be a need for experienced engineers if/when Croatia restarts its nuclear waste management program.

There is another good example of underground works in Croatia at "Kanfanar" quarry where dimension stone is being excavated with "room and pillar" method. One of the characteristics of this method are large open spaces in unsupported rock.

Whether or not we will have to construct a repository for ILW and/or HLW depends upon future Croatian politics, economics and international circumstances. Croatia is obliged to take care of half of the waste from Krško NPP, and certainly the existing waste from medicine, industry and research which is temporary stored at interim storage facilities. It is questionable whether own repository is cheaper solution than cost of disposal in another country. Nonetheless it is still open question whether another country will agree to accept Croatian radioactive waste, and under which conditions. The development of the program for its own repository will certainly position Croatia in the better negotiating place even if the final decision will be disposal at somebody else's repository.

Existence of URL open to international co-operation would certainly improve the international recognition and credibility of the Croatian program, as well as allow the dissemination of scientific research results to a broader scientific community.