

Conference Paper / Review

OTPAD VEZAN UZ PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE I PROIZVODNJU MINERALNIH GNOJIVA

Gordana MAROVIĆ, Jasminka SENČAR, Maja BRONZOVIĆ,
Zdenko FRANIĆ i Jadranka KOVAČ

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Primljeno u srpnju 2006.
Prihvaćeno u srpnju 2006.

Istraživanja prirodne radioaktivnosti uz poznate izvore zagađenja, bilo da se radi o prirodno povišenoj radioaktivnosti određenog područja ili o tehnološki povišenoj prirodnoj radioaktivnosti, provode se već nekoliko desetljeća u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu.

Saznanja o tehnološki povišenoj prirodnoj radioaktivnosti omogućila su dosadašnja istraživanja radioaktivnosti u blizini termoelektrana na ugljen i tvornice mineralnih gnojiva.

Svi ugljeni i fosfatne rude sadržavaju prirodnu radioaktivnost, članove uranova i torijeva prirodnoga radioaktivnog niza. Iskorištavanjem tih sirovina, ugljeni u termoelektrani i fosfatne rude u proizvodnji mineralnih gnojiva koncentriraju u sebi sadržanu radioaktivnost u čvrstom ostatku procesa kojemu su podvrgnute. Posljedično je koncentracija prirodnih radionuklida u otpadu nekoliko puta veća nego što su koncentracije prirodnih radionuklida inače prisutnih u okolišu, osobito u okolnome tlu. Sav se otpad iz proizvodnje odlaže na odlagališta, ondje se gomila i prisutni prirodni radionuklidi zbog dugog vremena poluraspada (npr. ^{226}Ra : $T_{1/2} = 1600$ godina) ostaju trajna prijetnja okolišu.

Rezultati znanstvenih spoznaja iskorišteni su prilikom sanacije odlagališta pepela i šljake, a poslužili su i u izradi kriterija pri odabiru uvoznih sirovina. Izmjerene koncentracije prirodnih radionuklida uvoznih energetskih ugljena, koji se danas rabe u termoelektrani na ugljen, pokazuju povoljniji omjer prirodnih radionuklida tako da je sav otpadni pepeo pogodan za uporabu u graditeljstvu odnosno u cementnoj industriji.

KLJUČNE RIJEČI: *fosfogips, odlagalište pepela i šljake, prirodna radioaktivnost, tehnološki povišena prirodna radioaktivnost*

Međuodnos čovjeka i okoline postaje jedno od ključnih pitanja daljnjeg razvoja čovječanstva i njegovih aktivnosti na Zemlji. Intenzivnim razvojem proizvodnje, u prvom redu industrije, javila se potreba za zaštitom prirode i težnja za usklađenim i održivim razvojem. Jedino na taj način prirodni ekosustavi ne bi bili dovedeni do ruba urušavanja, a istodobno bi čovjek i dalje mogao obavljati svoje djelatnosti u prostoru, ali s pojačanim senzibilitetom prema prirodnoj sredini, dio koje je i sam.

Istraživanja radioaktivnosti, bilo da se radi o tehnološki povišenoj prirodnoj radioaktivnosti koja uključuje i utjecaj rada termoelektrane na ugljen i tvornice umjetnih mineralnih gnojiva, ili o prirodno povišenoj radioaktivnosti određenog područja, provode se u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja u Zagrebu od 1963. godine. Na temelju dugogodišnjeg praćenja, a u sprezi s razvojem znanstvene spoznaje i porastom ekološke osviještenosti, ustanovljena su na teritoriju

Republike Hrvatske područja koja zahtijevaju izuzetnu pažnju, gdje radioaktivnost u velikoj mjeri ovisi o proizvodnji. To su TE Plomin, Inavnil u Kaštelanskom zaljevu i Tvornica mineralnih gnojiva, Kutina. Na tim lokalitetima odlaganje otpada s karakteristikom dugotrajne izloženosti zračenju koje se ne bi ni pojavilo bez ljudske djelatnosti (tehnološki uvjetovana prirodna radioaktivnost), potencijalni je rizik zbog nekoliko razloga: zbog specifičnosti zemljopisnog položaja tih lokaliteta, naseljenosti, gospodarskog značenja, turizma, utjecaja na širi okoliš i prirodnih osobina područja.

ODLAGALIŠTA OTPADA IZ RADA TERMOELEKTRANA NA UGLJEN

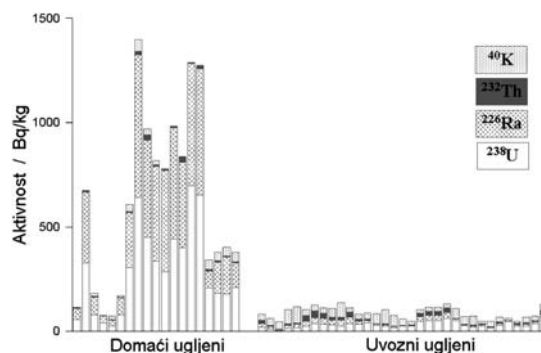
Poznato je da su termoelektrane na ugljen, kao najzastupljeniji način proizvodnje električne energije osobito u gospodarski manje razvijenim zemljama, jedan od najvažnijih izvora onečišćenja i generatora potencijalno opasnog otpada. Svi ugljeni sadržavaju prirodnu radioaktivnost: uranov i torijev prirodni radioaktivni niz. Izgaranjem ugljena u termoelektrani prirodna radioaktivnost prisutna u ugljenima koncentrira se u čvrstim ostacima izgaranja, u šljaci i pepelu, čak pet do deset puta, što ovisi o vrsti i aktivnosti ugljena, te tehnološkom rješenju termoelektrane. Samo manji dio izgorjelih tvari ispušta se kroz dimnjak. Pepeo i šljaka odlažu se na odlagališta, a prisutni prirodni radionuklidi zbog dugog vremena poluraspada (npr. ^{226}Ra : $T_{1/2} = 1600$ godina) ostaju trajna opasnost, postaju izvorom produžene izloženosti radioaktivnosti i time potencijalan ekološki i mogući zdravstveni problem (1, 2).

Primjer TE Plomin

Termoelektrana Plomin snage 125 MW u pogonu je od 1970. godine, a novi blok TE Plomin II, snage 210 MW, od 1999. godine. Termoelektrana se nalazi u Plominskom polju, 5 km od morske obale. Neposredno uza samu termoelektranu smješteno je odlagalište pepela i šljake. Danas je na površini od približno 120.000 m² akumulirano oko milijun tona šljake i pepela.

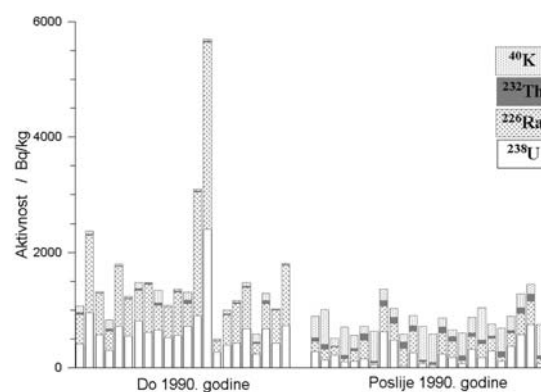
Za proizvodnju električne energije termoelektrana je do početka devedesetih godina prošloga stoljeća rabila domaće ugljene (antracit iz Istre, lignit i smeđi ugljen s Dinarida) s visokim postotkom sumpora (10 % do 14 %) i povišenom prirodnom radioaktivnosti.

Budući da su domaći ugljenokopi zatvoreni, posljednjih se desetak godina za rad termoelektrane rabe samo ugljeni iz uvoza, s malim udjelom sumpora (oko 1 %) i niskom prirodnom radioaktivnosti (ugljeni iz Jugoistočne Azije, Indonezije, Kolumbije, Južne Afrike). Aktivnosti ugljena rabljenih u TE Plomin prikazane su na slici 1.



Slika 1 Aktivnosti rabljenih ugljena u TE Plomin

U razdoblju uporabe domaćih ugljena sav se otpad nakon izgaranja odlagao na odlagalište. Odlagani je materijal sadržavao relativno visoku aktivnost prirodnih radionuklida. U to se vrijeme pepeo i šljaka nisu rabili u građevinarstvu, budući da koncentracije prirodnih radionuklida nisu zadovoljavale zakonske uvjete za građevinske materijale, pa se sve odvozilo na odlagalište (3-5). Ovisno o aktivnosti rabljenih ugljena, aktivnosti prirodnih radionuklida izmjerenih u pepelu i šljaci, čvrstim ostacima izgaranja, varirale su u širokom rasponu (6). Na slici 2 prikazane su aktivnosti pepela i šljake nastalih izgaranjem ugljena u TE Plomin.



Slika 2 Aktivnosti pepela i šljake nastalih izgaranjem ugljena u TE Plomin

Veliki problem na odlagalištu bio je utjecaj vjetra i posljedično rasipanje i raspršivanje pepela i šljake te njihovo raznošenje oborinama. Sredinom 1980-ih počelo je prekrivanje dijelova odlagališta zemljom

(oko 60 cm zemlje i više) i ti se dijelovi odlagališta više nisu nasipavali pepelom. Krajem 1990-ih počela je stručna sanacija koja se sastojala od nanošenja zaštitne folije ispod i iznad otpadne šljake i pepela, od prekrivanja zemljom i sustavne izgradnje rubnih kanala i kolektora za odvod oborinskih voda. Izgled odlagališta za vrijeme trajanja (postupka) sanacije prikazan je na slikama 3 i 4.



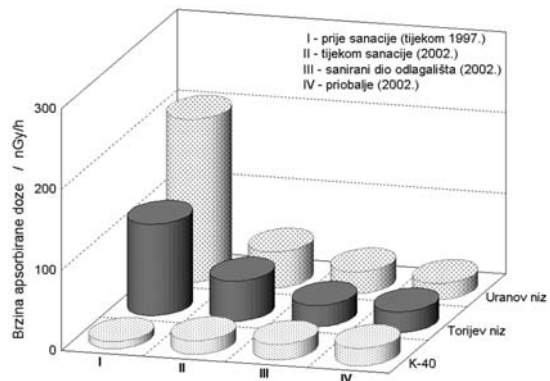
Slika 3 Odlagalište za vrijeme trajanja (postupka) sanacije

Za potrebe praćenja radioaktivnosti napravljena je mreža mjernih točaka na odlagalištu s pomoću kojih su se tijekom svih tih godina prikupljali podaci neinvazivnim metodama kako bi se određivanjem brzine apsorbirane doze pratio rizik od produljene izloženosti radioaktivnosti za ljude i okoliš.



Slika 4 Odlagalište za vrijeme trajanja (postupka) sanacije

Slika 5 prikazuje brzinu apsorbirane doze na odlagalištu TE Plomin, u različitim razdobljima provođenja mjerenja: prije, tijekom i poslije sanacije odlagališta te u priobalju, na području izvan odlagališta.



Slika 5 Brzina apsorbirane doze na odlagalištu TE Plomin

Uočljiv pad koncentracije radionuklida nakon provedene sanacije upućuje na učinkovitost sanacije, što znači da je provedenom sanacijom postignuta svrha: utjecaj tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti na odlagalištu pepela i šljake sveden je na vrijednost prirodne radioaktivnosti u tlima.

Današnji izgled i stanje odlagališta prikazani su na slici 6. Odlagalište je provedenom sanacijom uklopljeno u okoliš: zatravljeno i prekriveno raslinjem.



Slika 6 Današnji izgled saniranog odlagališta TE Plomin

Zbog povoljnog odnosa i koncentracije prirodnih radionuklida u ugljenima koji se danas rabe u termoelektrani, sav je otpad prikladan za uporabu u graditeljstvu, u cementnoj industriji, budući da izmjerene koncentracije prirodnih radionuklida zadovoljavaju zakonske odredbe (3-5). Samo se manji dio (preostatak) odlaže na odlagalište.

Termoelektrana na ugljen, Kaštelanski zaljev

Na području Kaštelanskog zaljeva smještena je termoelektrana na ugljen za potrebe nekadašnje tvornice Inavinil. Prikupljanje pepela i šljake u krugu tvornice počinje od 1950-ih godina. Na to područje dopreman je i otpadni materijal iz ostalih termoelektrana koje su rabile ugljene s povišenom prirodnom radioaktivnosti.

Sedamdesetih godina provedena je temeljita stručna sanacija kojom je trajno sanirano odlagalište unutar tvorničkoga kruga. Pri sanaciji je najprije napravljena postelja od suhozida, a na nju je postavljena plastična folija na koju je nasut prikupljeni otpadni materijal. Na površinu je položena plastična folija, rubovi su zavareni, a cijelo odlagalište prekriveno je slojem gline i nasuto humusom te zasijano travom. Zabranjen je svaki daljnji zahvat na pokrovnom sloju koji bi narušio strukturu zaštitnog sloja. Neinvazivne metode kontrole područja provedene na odlagalištu pokazale su da su zaštitni radovi sanacije djelotvorni. Drugim riječima, postignuto je da se prirodna radioaktivnost na zaštićenom odlagalištu pepela i šljake svela na vrijednost prirodne radioaktivnosti u okolnim tlima. Međutim, poslije se uz sanirano odlagalište počeo nasipavati prostor između tvornice i mora, za što je iskorišten otpadni materijal, pepeo i šljaka iz tvorničke termoelektrane koja je nastavila rabiti ugljene (dinaridski i bosanski) povišenih koncentracija prirodne radioaktivnosti. Tako je, uz dobro sanirano staro odlagalište, nastalo novo, neuređeno odlagalište pepela i šljake, s neujednačenim sastavom odloženog materijala, velikim oscilacijama u koncentraciji radionuklida i bez definiranih granica, jer su neki dijelovi novog odlagališta nastali nasipavanjem u more (slika 7).

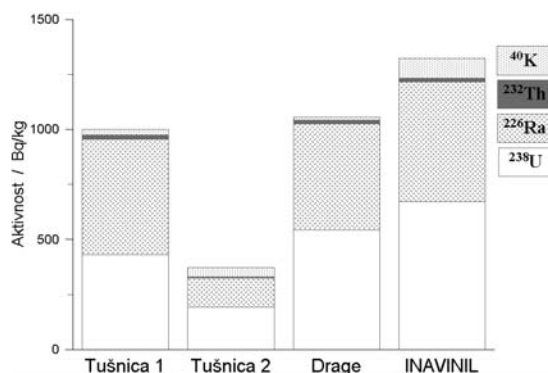


Slika 7 Neuređeno odlagalište tvornice Inavinil

Prema procjenama, na površini od 18.000 m² odloženo je oko 50.000 tona pepela i šljake.

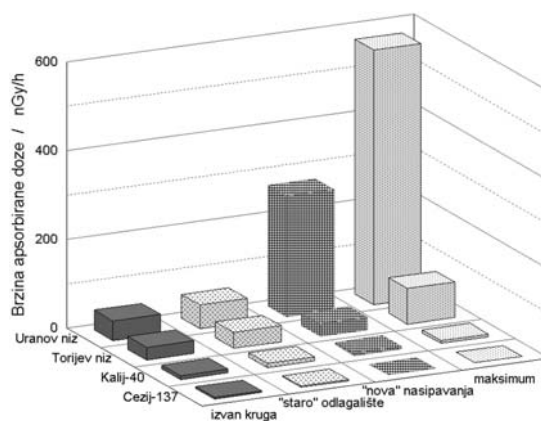
Od kraja sedamdesetih provodilo se uzorkovanje ugljena rabljenog u termoelektrani tvornice te produkata izgaranja. Slika 8 prikazuje aktivnosti ugljena rabljenih u termoelektrani tvornice Inavinil.

Krajem 1980-ih uvode se i provode redovita *in-situ* gamaspektrometrijska mjerenja na mreži točaka tvorničkoga kruga. Slika 9 prikazuje doprinose brzini apsorbirane doze članova uranov i torijeva niza, kao i prirodnog kalija te cezija na prostoru saniranoga starog odlagališta i na novonasipavanom dijelu odlagališta.



Slika 8 Aktivnosti ugljena rabljenih u termoelektrani tvornice Inavinil

Izdvojena je lokacija na novonasipavanom odlagalištu na kojoj je izmjerena maksimalna brzina apsorbirane doze. Sve su vrijednosti prikazane u usporedbi s vrijednostima izvan kruga tvornice.



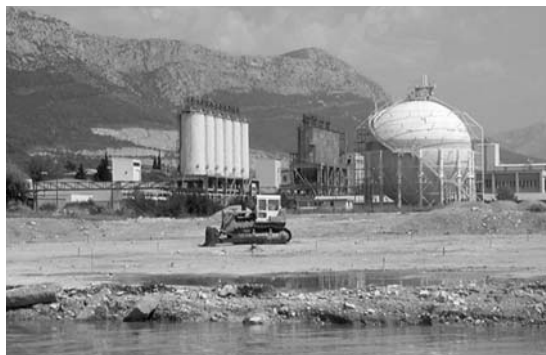
Slika 9 Brzina apsorbirane doze unutar i izvan kruga tvornice Inavinil

Uzorkovana je i voda iz taložnice, more na nekoliko mjesta duž obale iz okruženja tvorničkoga kruga te morski bioindikatorski organizmi (školjke). Prema dosadašnjim mjerenjima aktivnosti radionuklida u odlaganim materijalima, na pojedinim dijelovima odlagališta postoje visoke koncentracije radioaktivne tvari. Zbog izravnog kontakta odloženog materijala s morem i blizine gusto naseljenog i turistički atraktivnog područja, nužno je razmotriti sadašnje potrebe zaštite i očuvanja okoliša u najširem smislu, u skladu s raspoloživim mogućnostima (7).

Rezultati istraživanja prirodne radioaktivnosti u području Kaštelanskog zaljeva pokazuju utjecaj odlagališta pepela i šljake na morsku vodu, no kako su vrijednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u granicama dopuštenih vrijednosti,

rad termoelektrane nije izazvao znatno narušavanje morskog ekosistema. Ipak, potrebna je redovita kontrola stanja radioaktivnosti u okolišu područja, mjerenja na terenu, kao i sustavnija uzorkovanja.

Danas je cijelo područje odlagališta zapušteno, a odlagalište je bez redovitoga radiološkog nadzora (slika 10).



Slika 10 Današnji izgled odlagališta bivše tvornice Inavinil

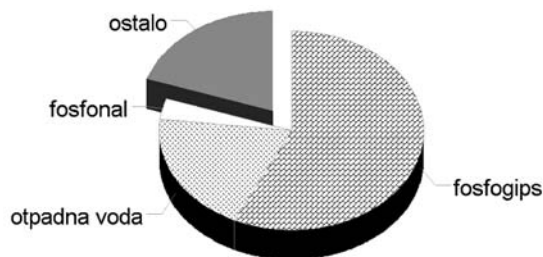
ODLAGALIŠTE OTPADA IZ PROIZVODNJE MINERALNIH GNOJIVA

Fosfatne rude, glavna sirovina i izvor fosfata za proizvodnju fosfatne kiseline i fosfatnih mineralnih gnojiva, sadržavaju prirodnu radioaktivnost urana i torija. Količina tih radionuklida u fosfatnoj rudi ovisi o podrijetlu sirovine.

Fosfogips je otpadni produkt koji nastaje prilikom proizvodnje fosfatne kiseline i fosfatnih mineralnih gnojiva. Tijekom proizvodnje (fosfatne kiseline mokrim postupkom) glavnina ^{226}Ra (gotovo 80 % radija) odlazi u fosfogips, dok glavnina urana ostaje u fosfatnim produktima. Na tonu proizvedene fosfatne kiseline nastane oko četiri tone fosfogipsa, a konačna raspodjela radionuklida u fosfogipsu ovisi o koncentraciji radionuklida početnih sirovina. Slika 11 prikazuje udjele aktivnosti proizvoda i otpada u aktivnosti fosfatne rude za jedan od kritičnih radionuklida (^{226}Ra).

Odlagalište fosfogipsa udaljeno je oko 5 km od tvornice, uz rub Lonjskog polja. Na ukupnoj površini od 1,6 km² i obujma oko 20,000.000 m³ trenutno je odloženo oko 4,500.000 m³ fosfogipsa.

Fosfogips se na odlagalište doprema cjevovodom kao vodena suspenzija, a višak vode služi za ponovni transport fosfogipsa (zatvoreni sistem). Podzemne vode i kontrola propusnosti odlagališta prate se s pomoću piezometara smještenih uz sam rub odlagališta na dubini od 4 m, odnosno 10 m (8).



Slika 11 Udjele aktivnosti ^{226}Ra u proizvodima i otpadu u aktivnosti ^{226}Ra u fosfatnoj rudi

Sanacija odlagališta nakon prestanka proizvodnje predviđa konstrukciju zaštitnog sloja od gline oko odlagališta fosfogipsa i poravnavanje površine slojem kalcijeva karbonata i tla, kako bi se površina zazelenjela i uklopila u okoliš.

ZAKLJUČAK

Za nadzor odlagališta koje karakterizira materijal s tehnološki povišenom koncentracijom prirodnih radionuklida (TENORM) i za eventualno upravljanje rizikom koji takva odlagališta mogu predstavljati za ljude i okoliš, najvažnije je poznavati suvremene standarde radiološke sigurnosti i ukupnu efektivnu dozu zračenja za najugroženije pojedince u populaciji.

Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja s pravilnicima (3-5) koji ga slijede definira radioaktivne tvari ispod graničnih vrijednosti koncentracija aktivnosti ispod kojih se radionuklidi izuzimaju iz nadzora. Istodobno, postojećom zakonskom regulativom nisu definirani uvjeti pod kojima se radioaktivne tvari pod nadzorom mogu trajno odlagati, kao ni postupanja s materijalom kojemu je tehnološkim postupcima povišena prirodna radioaktivnost. To otvara prostor različitim neprimjerenim načinima zbrinjavanja otpadnog materijala koji s tehnološki povišenom koncentracijom radionuklida (TENORM) zahtijeva stalni radiološki nadzor radi poduzimanja mjera u skladu s najboljim, znanstveno provjerenim, iskustvima i iz drugih zemalja.

LITERATURA

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects on ionising radiation. New York: UN; 2000.
2. Subašić D, Shaller A, Barišić D, Lulić S, Vekić B,

- Kovač J, Lokobauer N, Marović G. Restoration of radioactively contaminated sites in the Republic of Croatia. In: Planning for Environmental Restoration of Radioactively Contaminated Sites in Central and Eastern Europe. Vol. 3: Technologies for, and the Implementation of, Environmental Restoration of Contaminated Sites. IAEA-TECDOC-865; Vienna: IAEA; 1996. str. 87-119.
3. Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja. Narodne novine RH 1999;(27).
 4. Pravilnik o uvjetima, načinu, mjestima i rokovima sustavnih ispitivanja ionizirajućih zračenja te vrsta i aktivnosti radiokativnih tvari u okolišu. Narodne novine 2000;(86).
 5. Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućih zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima. Narodne novine 2000;(84).
 6. Marović G, Senčar J, Kovač J, Prlić I. Improvement of the radioecological environmental situation due to remedial actions at a coal-fired power plant. J Radioanal Nucl Chem 2004;261:451-5.
 7. Marović G, Senčar J. Assessment of radiological situation of a site contaminated by technologically enhanced natural radioactivity in Croatia. J Radioanal Nucl Chem 1998;241:569-74.
 8. Marović G, Senčar J. ^{226}Ra and possible water contamination due to phosphate fertilizer production. J Radioanal Nucl Chem Lett 1995;200:9-18.

Summary

RADIOACTIVE WASTE DUE TO ELECTRIC POWER AND MINERAL FERTILISER PRODUCTION

Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb has been conducting systematic investigations of radioactive contamination of the Croatian environment by anthropogenic fission products as well as by naturally occurring radioactive material (NORM) since 1963. Several critical sites in Croatia were identified for NORM, that is, for slag and ash repositories from coal-fired power plants and phosphogypsum repository from a mineral fertilizer production plant.

As the coals and phosphate ores contain naturally occurring radionuclides, especially the members of the uranium and thorium radioactive chains, utilising these materials in various industries only enhances their natural radioactivity in residual waste. Consequently, the resulting activity concentrations of natural radionuclides in waste material could be several times higher than in the adjacent soil.

These deposited materials pose permanent risk of radiation exposure due to the long physical half-life of natural radionuclides (e.g., $T_{1/2} = 1600$ years for ^{226}Ra).

Results of scientific investigations related to natural radioactivity are used in the recovery of slag and ash repositories and landfills, as well as in establishing regulatory criteria targeting import of coal and phosphate ores.

In consequence, recently measured activity concentrations of natural radioactivity in imported materials used nowadays in coal-fired power plants are significantly lower than in previously used raw materials. Therefore, slag and ash can be used as additive materials in cement production.

KEY WORDS: *naturally occurring radioactive material, NORM, natural radioactivity, phosphogypsum, slag and ash deposit*

REQUESTS FOR REPRINTS:

Gordana Marović
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Jedinica za zaštitu od zračenja
Ksaverska cesta 2, HR-10001 Zagreb
E-mail: marovic@imi.hr