

Gospodarenje reziduima u okviru Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva Republike Hrvatske

Ž. Veinović,^{a*} I. Prlić,^b T. Kujundžić,^a M. Surić Mihić,^b D. Perković,^a D. Domitrović,^a T. Korman,^a A. Mostečak^a i G. Uroić^c

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License



^aRudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

^bInstitut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Ksaverska cesta 2, 10 000 Zagreb

^cEugena Kvaternika 13, 44 320 Kutina

Sažetak

Donošenjem Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, Vlada Republike Hrvatske je ratificirala Strategiju koja dijelom određuje gospodarenje reziduima. S obzirom na važeću legislativu bit će nužno regulatorno modificirati trenutačne i predvidjeti buduće rudarske i druge industrijske aktivnosti u kojima nastaju rezidui i pri kojima se manipulira reziduima. U radu se daje detaljan pregled legislative te preporuka i smjernica, u skladu s posljednjim dostignućima, za gospodarenje postojećim i budućim odlagalištima i mjestima za privremeno pohranjivanje rezidua.

Ključne riječi

Rezidui, gospodarenje reziduima, radionuklidi, rudarstvo, industrija, ozračenost, dozimetrija

1. Uvod

Na 124. sjednici Vlade Republike Hrvatske, održanoj 9. studenoga 2018., donijeta je odluka¹ o donošenju Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva – Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine.² Time je prihvaćen dio iz Strategije³ o prijedlogu dugoročnog skladišta nisko i srednje radioaktivnog otpada na području Trgovske gore, na preferentnoj lokaciji Čerkezovac, od 2023. godine. Osim toga, Nacionalni program predviđa sanaciju lokacija koje su kontaminirane prirodnim radionuklidima u razdoblju do 2025. godine.

Cjelovitu situaciju gospodarenja prirodnim radionuklidima i reziduima u Hrvatskoj kao i buduće aktivnosti koje mogu uzrokovati pojavu rezidua, potrebno je sagledati s dva recentna događaja:

1. novi, modernizirani legislativni okvir u svezi s prirodnim radionuklidima i reziduima u Republici Hrvatskoj i
2. osnivanje Europskog udruženja za NORM** (engl. *European NORM Association – ENA*)⁴ kao ekspertne platforme suradnje iz područja industrije, istraživanja i politike, na europskoj razini nepristranog konzultantskog tijela za nove propise i smjernice.

U ovom radu bit će prezentirana legislativa koja se odnosi na gospodarenje prirodno radioaktivnim materijalima (PRM) i reziduima, kao i pregled povijesnih, trenutačnih i mogućih lokacija i industrija u Republici Hrvatskoj u okviru kojih se spomenuti materijali pojavljuju.

S obzirom na utjecaj pojave prirodnih radionuklida i rezidua na kvalitetu života kroz djelovanje ionizirajućeg zračenja na čovjeka, biotu i okoliš u općem smislu, nužno je poznavati lokacije na kojima se nalaze ti materijali, procijeniti rizik koji one predstavljaju te u okviru rudarskih i drugih industrijskih aktivnosti osigurati zaštitu radnika, stanovnika i biote od prirodnih izvora ionizirajućeg zračenja i rezidua.

2. Legislativni okvir

Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti^{5,6,7,8} krovni je dokument nadležan za gospodarenje prirodnim radionuklidima i reziduima. Međutim, kako je nazivlje u tom području tek nedavno usklađeno s europskim i međunarodnim konvencijama, ono što se naziva reziduima u podzakonskim aktima,⁹ u Zakonu se definira kao “prirodna radioaktivna tvar sa svojstvima promijenjenim korištenjem tehnoloških postupaka jest prirodna tvar u kojoj je koncentracija pojedinih radionuklida promijenjena ljudskim djelovanjem izvan nuklearnog gorivnog ciklusa tako da je aktivnost ili koncentracija aktivnosti radionuklida koje sadržava takva radioaktivna tvar iznad granice koju pravilnikom propisuje ravnatelj Zavoda (Državni Zavod za radi-

* Autor za dopisivanje: doc. dr. sc. Želimir Veinović
e-pošta: zelimir.veinovic@rgn.hr

** Engl. *Naturally Occurring Radioactive Materials* – prirodno radioaktivni materijali.

ološku i nuklearnu sigurnost – DZRNS*)". S druge strane, prirodni izvor ionizirajućeg zračenja definiran je u Zakonu kao "izvor ionizirajućeg zračenja prirodnog, zemaljskog ili svemirskog podrijetla". Zakon nadalje kaže kako Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, istrošenog nuklearnog goriva, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje upotrebljavati, mora nedvosmisleno odrediti "upravljanje prirodnim radioaktivnim tvarima čija su svojstva promijenjena korištenjem tehnoloških postupaka". U svezi s Nacionalnim programom provedbe Strategije,² Zakon kaže da mora sadržavati "Inventar radioaktivnog otpada, istrošenog nuklearnog goriva, iskorištenih izvora uključujući razgradnju i prirodne radioaktivne tvari sa svojstvima promijenjenim korištenjem tehnoloških postupaka, za postojeće stanje i očekivano nastajanje u budućnosti, na način da se jasno razaznaju pripadne lokacije s količinama materijala klasificiranim prema razini radiološke opasnosti" te „opis istraživačkih i razvojnih aktivnosti potrebnih za demonstriranje opravdanosti rješenja za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, istrošenog nuklearnog goriva, iskorištenih izvora uključujući i prirodne radioaktivne tvari sa svojstvima promijenjenim korištenjem tehnoloških postupaka".

Strategija radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje 2017. – 2025. godine¹⁰ pod Ciljevima radiološke i nuklearne sigurnosti i mjerama za njihovo ostvarenje navodi "zaštitu ljudi od ionizirajućeg zračenja iz okoliša" te "identifikaciju radnih mjesta i područja s obzirom na izloženost prirodnim izvorima ionizirajućeg zračenja".

Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva³ navodi prirodni radioaktivni materijal (PRM) kao "pojam iz Direktive 2013/59, članak 23."^{11,12} i definira ga kao materijal "koji uključuje prirodne radioaktivne materijale korištene u ljudskim djelatnostima koje dovode do izlaganja radnika ili stanovništva, a koji se ne može zanemariti sa stajališta zaštite od zračenja". Strategija nadalje navodi da Republika Hrvatska (RH) "ima obvezu sanirati lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali za koje je potreban kontinuirani regulatorni nadzor" te je i kao misija Strategije osim ostalog navedeno "definirati smjernice i ciljeve za sanaciju lokacija s prirodnim radioaktivnim materijalima".

U polazištima Strategije stoji kako sanacija lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali u RH nije organizirana na sustavan način, a kao jednu od obveza koje je RH u navedenim područjima preuzela, navedeno je "na tehnološki siguran, prihvatljiv za okoliš i organizacijski učinkovit način sanirati lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali". Pri tome, navodi se da se Strategijom nastoji:

- istaknuti obvezu izrade cjelovitih programa sanacije koji uključuju tehnološki sigurna, prihvatljiva za okoliš i organizacijski učinkovita rješenja koja se odnose na status lokacije u dalekoj budućnosti;
- istaknuti obvezu vlasnika postrojenja koje je proizvelo

radioaktivne materijale, odnosno vlasnika lokacije na kojoj se nalaze navedeni materijali za izradu programa sanacije i za osiguranje financijskih sredstava potrebnih za sanaciju;

- afirmirati pristup prema kojemu se sanacija treba odvijati na samoj lokaciji;
- afirmirati pristup prema kojemu programe sanacije treba uskladiti s prostornim i urbanističkim planovima lokalne zajednice na čijem se teritoriju lokacija o kojoj je riječ nalazi;
- afirmirati potrebu razmatranja mogućnosti ponovne upotrebe materijala i
- uspostaviti koncept kontinuiranog radiološkog nadzora lokacije i odgovarajućeg izvještavanja.

Taj dio Strategije od iznimne je važnosti, jer se kao odgovorni za program sanacije i financiranje sanacije navode vlasnik postrojenja koje je proizvelo materijale odnosno vlasnik lokacije na kojoj se materijali nalaze. Tako se za određene sanacijske radove u budućnosti može teretiti tvrtka, ali istodobno i grad, odnosno općina ili županija ili država. Bitno je i to što Strategija traži afirmiranje pristupa prema kojemu se sanacija treba odvijati na samoj lokaciji, ali i potrebu razmatranja mogućnosti ponovne uporabe materijala (engl. reuse).

U okviru poglavlja "Inventar otpada" navode se samo tri lokacije u RH s prirodnim radioaktivnim materijalima koji moraju biti pod regulatornim nadzorom: Plomin, Kaštel Sućurac i Kutina.

U okviru poglavlja "Ciljevi", pod kratkoročnim ciljevima (2 god.), navodi se kako se programi sanacije lokacija na kojima se nalaze PRM-i prije svega moraju temeljiti na zaštiti zdravlja ljudi i zaštiti okoliša od radiološkog utjecaja te kako u skladu s tim u okviru programa sanacije mora biti sustavno razrađen kontinuirani radiološki nadzor lokacija s tim materijalima, pri čemu je potrebno voditi računa o učinkovitosti već provedenih postupaka sanacije i mjera za zaštitu okoliša te o možebitnoj zapuštenosti postojećih deponija i o eventualnoj potrebi za njihovom obnovom. Pri tome nije jasno smatraju li se pod "deponijama" uređena odlagališta rezidua ili mjesta za privremeno pohranjivanje tih materijala ili oboje. U tekstu nadalje stoji: "Ako se lokacije planiraju koristiti za daljnje deponiranje prirodnih radioaktivnih materijala, potrebno je razmotriti jesu li kapaciteti postojećih deponija dostatni. Za izradu programa sanacije treba uzeti u obzir već provedena istraživanja na lokacijama i dobivene rezultate analiza. Ta istraživanja i rezultate analiza treba koristiti kao temelj za određivanje dodatnih istraživačkih radova. Ako postojeći planovi sanacije nisu u skladu s rezultatima najnovijih istraživanja, potrebno ih je revidirati."

Iz teksta Strategije nije jasno počinje li razdoblje od dvije godine donošenjem Strategije (2014. – 2016.) ili prihvaćanjem Plana provedbe Strategije. U drugom slučaju, regulatorno provedbenom, razdoblje za izradu programa sanacije lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali počinje krajem 2018. i traje do 2020.

Srednjoročni ciljevi (10 god.), vezano za provedbu programa sanacije lokacija na kojima se nalaze PRM-i, naglašava

* DZRNS je implementiran pod Ministarstvom unutarnjih poslova s 1. 1. 2019., prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o unutarnjem ustrojstvu Ministarstva unutarnjih poslova¹³ a pravni akti su djelomično prilagođeni promjenama.

vaju potrebu sustavnog razvoja kontinuiranog radiološkog nadzora lokacija. Pri tome, praćenje stanja radioaktivnosti na lokacijama na kojima se nalaze PRM-i i u njihovoj okolini moraju organizirati vlasnici postrojenja ili vlasnici lokacija, a u skladu s pravilnikom koji donosi Zavod (DZRNS) ili odgovarajuće tijelo RH.

Dugoročni ciljevi Strategije podrazumijevaju provedbu kontinuiranog radiološkog nadzora, "sada već saniranih lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali" u skladu s pravilnikom koji donosi Zavod (Pravilnik o sadržaju te uvjetima, kriterijima i načinu odobravanja plana sanacije¹⁴).

U poglavlju "Strateške smjernice – Sanacija" navodi se da "za sanaciju navedenih lokacija (Plomin, Kaštel Sućurac i Kutina) ne treba planirati nikakva dodatna ili nova skladišta ili odlagališta na drugim lokacijama... Zbrinjavanje prirodnih radioaktivnih materijala provodit će se na lokaciji na kojoj se ti materijali nalaze, u skladu sa sigurnosnim standardima za zaštitu od zračenja i zaštitu okoliša prema zahtjevima Zakona i Direktive 2013/59.¹¹ Namjena lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali i programi sanacije moraju biti usklađeni s rezultatima odgovarajućih analiza rizika za zdravlje ljudi i okoliš. Usklađivanje namjene lokacija i programa sanacije s rezultatima analiza rizika je iterativan proces." Nadalje se navodi kako "prilikom izrade programa sanacije lokacija potrebno je razmotriti mogućnost ponovne upotrebe onih prirodnih radioaktivnih materijala koji se mogu osloboditi regulatornog nadzora. Dobar primjer ponovne upotrebe materijala je korištenje pepela i šljake nastalih izgaranjem ugljena u termoelektranama te fosfogipsa nastalog u procesu proizvodnje mineralnih gnojiva za proizvodnju građevinskog materijala. Tako se optimira zbrinjavanje nusproizvoda njihovom ponovnom upotrebom. Radioaktivnost navedenih prirodnih radioaktivnih materijala koji se mogu koristiti kao sirovina u građevinskoj industriji treba pratiti u skladu s Pravilnikom o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu¹⁵ koji definira uvjete za maksimalnu granicu radioaktivnog onečišćenja materijala koji se upotrebljavaju u graditeljstvu." Spomenuti Pravilnik u međuvremenu je zamijenjen novom verzijom.⁹ Promjena u svezi s građevnim proizvodima (u novoj verziji Pravilnika građevnih materijala) vezana je uz indeks koncentracije aktivnosti pojedinih radionuklida (RA-226, Th-232 i K-40) koji više nije definiran kao manji ili jednako jedan uz zadane maksimume, već je navedeno da se "Indeks primjenjuje na građevni materijal, ne na njegove sastavne dijelove, osim kada su ti sastavni dijelovi sami građevni materijal i posebno se procjenjuju kao takvi. Za primjenu indeksa na takve sastavne dijelove, osobito rezidue iz industrija koje obrađuju materijale koji sadrže prirodne radionuklide, a koji se recikliraju u građevni materijal, treba primjenjivati odgovarajući faktor udjela. Vrijednost Indeksa koji iznosi 1 može se koristiti kao konzervativni alat za prepoznavanje materijala koji mogu dovesti do prekoračenja referentne razine. Pri izračunu doze treba uzeti u obzir i druge čimbenike, kao što su gustoća i debljina materijala, kao i faktore koji se odnose na vrstu zgrade i namjenu materijala (temeljni ili površinski)."

Provedba Strategijom ustanovljenih smjernica i ciljeva detaljno je razrađena u Nacionalnom programu provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva.² U Nacionalnom

programu postavljeni su temelji učinkovitog regulatornog okvira s pripadajućom institucionalnom infrastrukturom za sigurno i učinkovito zbrinjavanje radioaktivnog otpada (RAO), istrošenih izvora (II) i istrošenog nuklearnog goriva (ING) te za saniranje lokacija s prirodnim radioaktivnim materijalima.

U Nacionalnom Programu ponavljaju se dijelovi strategije u svezi s odgovornošću i obvezama vlasnika postrojenja i/ili lokacija, navode se iste tri lokacije s PRM-ima (Plomin, Kaštela i Kutina) te ideja o sanaciji *in situ* i mogućoj ponovnoj uporabi materijala koji se mogu osloboditi regulatornog nadzora. U tom dokumentu jasno se navodi da "od tri lokacije u Republici Hrvatskoj na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali jedino je lokacija Plomin u potpunosti sanirana". Uz to se navodi i kako je u gradu Kaštela, na lokaciji bivše tvornice Jugovinil, jedno od dva odlagališta pepela i šljake 1974. sanirano, no ostaje nesanimirana lokacija na prostoru između tvornice i mora s većim dijelom materijala akumuliranog na dijelu lokacije velike taložnice. Smatra se potrebnim "izraditi novi Program sanacije lokacije bivše tvornice Jugovinil, koji će se uskladiti s Prostornim planovima općine Kaštela", a u sklopu kojeg će se razmotriti i mogućnost uporabe materijala koji se mogu osloboditi regulatornog nadzora."

Za odlagalište fosfogipsa tvornice Petrokemija d. d. u Kutini navodi se da nije potreban dodatni radiološki nadzor okoliša, osim postojećeg, niti su potrebne dodatne mjere radiološke zaštite. Planira se zatvaranje odlagališta fosfogipsa s obradom trenutačno prisutne kisele otpadne vode i one koja će se generirati tijekom i poslije zatvaranja zbog procjeđivanja i oborina, uz razmatranje mogućnosti uporabe materijala.

Jedan od najvažnijih pravnih dokumenata u svezi s prirodnim radionuklidima svakako je Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu⁹ koji rezidue definira kao "materijal koji ostaje nakon industrijskog procesa, a koji se sastoji od ili koji je onečišćen prirodnim radionuklidima i nastaje u industrijskim sektorima". Pravilnik prirodno radioaktivne materijale naziva "prirodnim izvorima (ionizirajućeg zračenja)" i daje popis aktivnosti (industrijskih sektora) pri kojima može doći do povećanog ozračenja radnika i stanovnika od prirodnih izvora:

- 1.) vađenje rijetkih minerala iz monazita,
- 2.) ekstrakcija dragog kamenja iz monazita,
- 3.) obrada rude niobija/tantala,
- 4.) proizvodnja kemijskih spojeva torija i proizvoda koji sadrže torij,
- 5.) proizvodnja nafte i plina,
- 6.) proizvodnja geotermičke energije,
- 7.) proizvodnja TiO₂ pigmenta,
- 8.) proizvodnja termalnog fosfora,
- 9.) industrija cirkona i cirkonija,
- 10.) proizvodnja fosfatnih gnojiva,
- 11.) proizvodnja cementa, održavanje klinker-pećnica,
- 12.) elektrocentrale na ugljen, održavanje bojlera,

⁹ Misliti se na općinu Kaštel Sućurac.

- 13.) proizvodnja fosforne kiseline,
- 14.) proizvodnja primarnog željeza,
- 15.) taljenje kositra/olova/ bakra,
- 16.) pogoni za filtriranje podzemnih voda,
- 17.) iskopavanje ruda osim uranija.

Uz navedeno, kao mjesta na kojima može doći do povećanja ozračenja radnika od prirodnih izvora zračenja, u pravilniku se navode: spilje, toplice/lječilišta, rudnici te radna mjesta pod zemljom ili iznad zemlje na području na kojemu se očekuje povećano zračenje od prirodnih radionuklida.

Pravilnik nadalje nalaže da je prije stavljanja u promet građevnih materijala potrebno odrediti koncentracije aktivnosti radija (Ra-226), torija (Th-232) (ili njihov proizvod raspada Ra-228) i kalija (K-40) te utvrditi njihovu prikladnost za uporabu. Indikativni popis vrsta građevnog materijala u kojem se očekuje pojava prirodnih izvora je sljedeći:

- 1.) prirodni materijali
 - a) aluminijski škrljac
 - b) građevni materijali ili aditivi prirodnog vulkanskog podrijetla, kao što su:
 - granitoidi (kao što su granit, sijenit i ortognajs)
 - porfiri
 - sedra
 - pucolan (pucolanski prah)
 - lava
- 2) materijali koji sadrže rezidue nastale u industrijama koje obrađuju materijal koji sadržava prirodne radionuklide:
 - pepeo
 - fosfogips
 - fosforna šljaka
 - kositrena šljaka
 - bakrena šljaka
 - crveno blato (otpadni proizvod proizvodnje aluminija)
 - otpadni proizvodi proizvodnje čelika.

U slučaju pojave rezidua, pravna ili fizička osoba, tijelo državne uprave i drugo državno tijelo ili tijelo jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave iz industrijskih sektora (korisnik industrijskog postrojenja) mora osigurati provedbu: procjene ozračenja radnika i procjene ozračenja pojedinog stanovnika (reprezentativne osobe) uzimajući u obzir vrstu radionuklida, puteve i način širenja radionuklida u okolišu te demografske, meteorološke, geološke, hidrološke i ekološke značajke okoliša. Korisnik industrijskog postrojenja obavezan je Državnom zavodu za radiološku i nuklearnu sigurnost dostaviti izvješće u pisanom obliku koje, osim ostalog, sadrži:

- vrstu i godišnje količine materijala koji se upotrebljava ili nastaje u industrijskom sektoru, zbog kojih može doći do povećanja ozračenja radnika,
- procjenu ozračenja radnika za pojedino radno mjesto ili posao,

- popis vrste i godišnjih količina rezidua te procjenu količine rezidua koji će nastati u sljedećih pet godina,
- plan zbrinjavanja, upotrebe ili recikliranja rezidua i utjecaj na okoliš,
- procjenu ozračenja pojedinog stanovnika (reprezentativne osobe) i
- poduzete i/ili planirane mjere zaštite stanovništva.

Mjere zaštite radnika iz industrijskih sektora odgovaraju onima vezanim uz zaštitu radnika i pojedinog stanovnika pri izloženosti prirodnim izvorima zračenja.

Mjere zaštite stanovništva zbog industrijskih sektora nalažu da, ako se procjenom ozračenja utvrdi da je ili da će efektivna doza pojedinca iz referentne skupine stanovništva biti veća od 0,3 mSv u godini dana (preporučeno dozno ograničenje za pojedinog stanovnika), korisnik industrijskog postrojenja obavezan je obustaviti rad i poduzeti mjere optimizacije ozračenja kojima će se osigurati da efektivna doza za pojedinca iz referentne skupine stanovništva bude manja od preporučenog dozno ograničenja.

U svezi sa skladištenjem rezidua, pravilnik nalaže da korisnik industrijskog postrojenja nastale rezidue do njihova odlaganja, upotrebe ili recikliranja smije skladištiti do najduže 12 mjeseci pod sljedećim uvjetima:

1. efektivna doza radnika koji nije izloženi radnik i referentne skupine stanovništva ne smije biti veća od 0,3 mSv u godini dana,
2. moraju biti poduzete mjere za sprječavanje krađe rezidua te im se mora ograničiti pristup,
3. poduzete mjere osiguravaju da se rezidui ne šire u okoliš.

Pravilnik, nadalje, daje pregled potrebne dokumentacije za potrebe provođenja uklanjanja rezidua s mjesta nastanka te definira postupanje s reziduima nastalim u industrijskim sektorima, pri čemu, da bi se ispunio kriterij za otpuštanje iz nadzora, nije dopušteno namjerno razrjeđivanje ili miješanje rezidua. Tako "pravna ili fizička osoba, tijelo državne uprave i drugo državno tijelo ili tijelo jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave, ne smije započeti obavljati miješanje rezidua s ostalim materijalima kako bi se koristili ili reciklirali prije nego što Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost za to izda odobrenje".

U svezi s odlaganjem rezidua, navedeno je samo: "Rezidui se odlažu u skladu s posebnim propisom." Na žalost, poseban propis u svezi s odlaganjem rezidua još nije donesen niti su na drugi način definirane mjere zbrinjavanja tog materijala. Autori su mišljenja da bi u izradi takvog dokumenta trebalo razmotriti nekoliko opcija:

1. *Ponovna uporaba* (engl. *reuse*) – u smislu razrjeđivanja tih materijala i uporabe u građevinske svrhe, npr. kao punilo, ukoliko bi razrjeđenje bilo u razini dopuštenih koncentracija;
2. *Zbrinjavanje na pripovršinskim odlagalištima* – uz primjenu modernog sustava inženjerskih barijera;

3. Zbrinjavanje na lokaciji – ukoliko postoji takva mogućnost, s obzirom na mogući transport radionuklida oborinskom/procjednom vodom;
4. Utiskivanje u duboke bušotine – osobito u slučaju rezidua iz naftne i plinske industrije.

Pravilnik o obavješćivanju, registriranju i odobrenjima te prometu izvorima ionizirajućeg zračenja¹⁶ navodi kako se odredbe Pravilnika odnose i na "aktivnosti i djelatnosti koje uključuju prirodne radionuklide, a za koje postoji zabrinutost da bi mogli uzrokovati prisutnost prirodnih radionuklida u pitkoj vodi te utjecati na rezerve pitke vode ili bilo koje druge puteve izlaganja, čime predstavljaju i razlog za zabrinutost sa stajališta zaštite od ionizirajućeg zračenja, neovisno o ispunjavanju uvjeta za izuzimanje iz nadzora propisanim u članku 7. ovoga Pravilnika."

Izuzimanje od obveze ishođenja odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja ili rješenja o registraciji predviđeno je za djelatnosti ili radne aktivnosti s prirodnim radionuklidima gdje ukupna aktivnost ili koncentracija aktivnosti svih radioaktivnih tvari uključenih u tu radnu aktivnost prelazi granične aktivnosti ili koncentracije aktivnosti za izuzimanje, pod sljedećim uvjetima:

- a) efektivna doza koju može primiti pojedini stanovnik od prirodnih izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u tu djelatnost ne smije biti viša od 1 mSv godišnje i
- b) radnici uključeni u navedenu djelatnost se ne smatraju izloženim radnicima.

Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja¹⁷ navodi da Zavod (DZRNS) izdaje potvrdu kojom potvrđuje osobu kao stručnjaka za zaštitu od ionizirajućeg zračenja za pojedino područje, od kojih je jedno navedeno kao "djelatnosti vezane uz industriju u kojoj nastaju rezidui, te njihovo korištenje, odlaganje, otpuštanje, skladištenje, uklanjanje ili recikliranje". Pri tome su opći uvjeti za izdavanje potvrde za navedenu djelatnost: stručna kvalifikacija (završen preddiplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij ili specijalistički diplomski stručni studij iz područja prirodnih znanosti (polje fizika, kemija) ili tehničkih znanosti (polje elektrotehnika, strojarstvo, rudarstvo, naftno i geološko inženjerstvo)), poznavanje i razumijevanje načela radiološke sigurnosti, poznavanje mjera radiološke sigurnosti u području/područjima za koje se traži potvrda, operativno znanje potrebno za pripremu i davanje odgovarajućih savjeta u područjima za koje se traži potvrda i najmanje pet godina radnog iskustva na poslovima radiološke sigurnosti u područjima za koja se traži potvrda. Posebni uvjeti i kriteriji za izdavanje potvrde su: dokazi kojima se dokazuje stručnost i radno iskustvo na poslovima u području za koje se podnosi zahtjev za izdavanje ili obnovu potvrde (uvjerenje o uspješno završenom dopunskom stručnom obrazovanju, profesionalni životopis s referencama i informacijama o stečenim znanjima i operativnim vještinama u području za koje se traži potvrda te drugi dokazi radnog iskustva u području za koje se traži potvrda).

Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja¹⁸ definira vrijednosti za izuzimanje ili otpuštanje iz

radiološkog nadzora prirodnih radionuklida u krutim tvarima u sekularnoj ravnoteži sa svojim potomcima:

- | | |
|--|-------------------------|
| • prirodni radionuklidi iz niza U-238 | 1 kBq kg ⁻¹ |
| • prirodni radionuklidi iz niza Th-232 | 1 kBq kg ⁻¹ |
| • K-40 | 10 kBq kg ⁻¹ |

Pri čemu se vrijednosti:

- primjenjuju na sve radionuklide iz niza radioaktivnih raspada U-238 ili Th-232, ali se za segmente u nizu radioaktivnih raspada koji nisu u ravnoteži s radionuklidom roditeljem mogu primijeniti više vrijednosti;
- primjenjuju pojedinačno na svaki radionuklid roditelj. Na neke elemente potomke iz niza radioaktivnih raspada, npr. Po-210 ili Pb-210, mogu se primijeniti više vrijednosti;
- ne mogu primjenjivati za izuzimanje iz nadzora rezidua koji se imaju namjeru ugraditi u građevni materijal ili ukoliko mogu ugroziti kvalitetu vode za ljudsku potrošnju;
- primjenjuju za ponovnu upotrebu, recikliranje, konvencionalno odlaganje ili spaljivanje krutih materijala.

Pravilnik o uvjetima i načinu izdavanja i oduzimanja odobrenja za ambalažu za prijevoz radioaktivnih i nuklearnih materijala^{19,20} referencira se na prirodne radionuklide i rezidue u vidu specificiranja "materijala niske specifične aktivnosti" (engl. *low specific activity – LSA*) LSA-I: "uranijeve i torijeve rude i koncentratih tih ruda te druge rude koje sadrže prirodne radionuklide ako se obrađuju u svrhu korištenja tih radionuklida".

Pravilnik o sadržaju te uvjetima, kriterijima i načinu odobravanja plana sanacije¹⁴ propisuje sadržaj, uvjete, kriterije i način odobravanja plana sanacije u slučaju radioaktivnog onečišćenja okoliša, prostorija, površina, predmeta i osoba. Pravilnik nalaže da se plan sanacije okoliša onečišćenog radioaktivnim tvarima izrađuje za svaku lokaciju posebno, u skladu s referentnim razinama propisanim posebnim propisom kojim se utvrđuju granice ozračenja, preporučeno dozno ograničenje i procjenjivanje osobnog ozračenja, uz primjenu načela opravdanosti i optimizacije vodeći računa o budućoj namjeni lokacije. Uz to, navodi se sadržaj plana sanacije:

1. podatci o nositelju izrade plana sanacije,
2. podatci o lokaciji koja zahtijeva sanaciju,
3. cilj i kriteriji sanacije,
4. procjena rizika,
5. prijedlog modela sanacije,
6. mjere zaštite od ionizirajućeg zračenja osoba koje sudjeluju u saniranju okoliša (uključujući i zemljišta, zgrade i druge građevine),
7. mjere zaštite okoliša i stanovništva od ionizirajućeg zračenja tijekom provedbe sanacije,
8. postupanje u slučaju izvanrednog događaja nastalog pri provedbi sanacije,
9. prijedlog potrebnih aktivnosti nakon provedene sanacije,

10. odgovarajući prilozi i dokumentacija koji se odnose na podatke iz plana.

Procjena rizika (prepoznavanje razine opasnosti koju onečišćenje radionuklidima predstavlja za stanovništvo i okoliš) navodi se kao trenutačna i dugoročna, a opseg (obim) procjene rizika ovisit će o uvjetima na svakoj pojedinoj lokaciji. Pod trenutačnom procjenom rizika misli se na rizik koji onečišćenje radionuklidima predstavlja u danom trenutku – kad se započne s radovima na lokaciji, a dugoročne, u smislu potencijalnog širenja radionuklida (onečišćenja) tijekom vremena i promjena rizika s promjenom aktivnosti (vrijeme poluraspada). Pri tome procjena rizika sadržava:

1. opis lokacije i identifikaciju radionuklida za koje je potrebno napraviti procjenu, tj. koji mogu biti povezani sa značajnim rizikom temeljem koncentracije/mobilnosti/postojanosti,
2. odabir scenarija izloženosti/mogućeg ozračenja – utvrđivanje mogućih putova ozračenja i reprezentativne osobe (stvarne i potencijalno izložene, na primjer: na lokaciji, izvan lokacije, radnici, budući stanovnici...),
3. odabir i primjenu modela za procjenu,
4. odabir ulaznih podataka,
5. odabir ciljeva sanacije,
6. primjenu ciljeva sanacije – karakterizaciju, evaluaciju i interpretaciju rizika (ovisno o scenarijima uzetim u obzir, npr. trenutačno stanje i ne činiti ništa; provođenje sanacije u svrhu poljoprivredne namjene zemljišta/industrijske namjene; rekreativne površine; stanovanje,
7. opis moguće potrebnih ograničenja u upotrebi lokacije nakon provedene sanacije (ovisno o modelu sanacije).

3. Europske platforme i projekti

U Uvodu spomenuto Europsko udruženje za NORM (engl. *European NORM Association – ENA*⁴), osnovano 2018. spajanjem EAN-NORM, EU Norm i NORM4Building mreža, ekspertna je platforma u području industrije, istraživanja i politike na europskoj razini. ENA je zamišljena kao nepristrano konzultantsko tijelo za izradu novih propisa i smjernica u svezi s gospodarenjem prirodnim radioaktivnim izvorima i radionuklidima. Misija i ciljevi ENA-e uključuju promidžbu i unaprjeđivanje zaštite od zračenja u kontekstu izloženosti PRM-ima djelujući kao europska platforma i forum za raspravu, širenje i razmjenu informacija, obuku i obrazovanje te podržavanjem znanstvenih spoznaja i novih smjerova istraživanja vezanih za PRM pitanja. Opći cilj ENA-e je podrška upravljanju PRM-om u skladu s europskim standardima i zakonodavstvom država članica i prema najboljoj praksi, kako bi se legalizirala i regulatorna nesigurnost smanjila, a ljudi i okoliš zaštitili na optimiziran način koji je prihvatljiv društvu. ENA povezuje niz eksperata iz europskih zemalja, uključujući i Republiku Hrvatsku.

U svezi s gospodarenjem reziduima i prirodno radioaktivnim materijalima, na razini EU-a provedeno je nekoliko

projekata u koje je bila uključena i Hrvatska i to: NERIS, INTAILRISK, INDUWASTE i ERICA.

*European Radioecology Alliance*²¹ (Europski radioekološki savez) i NERIS²² (Europska platforma pripremljenosti za zaštitne akcije i obnovu u slučaju nuklearnog i radioekološkog izvanrednog stanja, engl. *European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery*) su platforme koje se bave istom problematikom. *Alliance* funkcionira kao održiva transnacionalna organizacija koja je sposobna razraditi zajednički strateški istraživački program, upravljati njime i osigurati odgovarajuće sučelje sa širom istraživačkom zajednicom, uključujući sveučilišta i ključne dionike. Uloga *Alliancea* je također osigurati odgovarajuću razmjenu informacija s relevantnim organizacijama u zemljama članicama, kao i institucijama EU-a, posebno službama Europske komisije i drugim međunarodnim organizacijama ili društvima (npr. Međunarodna agencija za atomsku energiju, Međunarodna komisija za radiološku zaštitu, Međunarodna unija radioekologa). Misija platforme NERIS je uspostaviti forum za dijalog i metodološki razvoj svih europskih organizacija i udruga koje sudjeluju u odlučivanju o zaštitnim akcijama i obnovi u slučaju nuklearnog i radioekološkog izvanrednog stanja u Europi.

Projekt INTAILRISK²³ (engl. *Assessment of environmental risk for use of radioactively contaminated industrial tailings*), 2004. – 2007., imao je cilj istražiti industrijska odlagališta nastala uslijed uporabe radioaktivnog ugljena i u industriji proizvodnje aluminijske, u svrhu procjene metoda za učinkovito postupanje s tim otpadom i recikliranog materijala uzimajući u obzir rizik za ljude i okoliš. Razmotren je izravan rizik koji proizlazi iz spomenutih rezidua i rizik od disperzije rezidua u okoliš, osobito preko površinskih i podzemnih voda, a posebno je razmatran rizik za okoliš i zdravlje ljudi od industrijskih nusproizvoda koji se temelje na reziduima.

Projekt INDUWASTE²⁴ (engl. *Management and remediation of hazardous industrial wastes in the Western Balkan countries*), 2005. – 2006., imao je cilj predlagati praksu upravljanja i sanacije opasnih industrijskih otpada u pet ciljanih zemalja zapadnog Balkana (Albanija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Slovenija, Jugoslavija (Srbija i Crna Gora)) s obzirom na njihove učinke na okoliš i na zdravlje ljudi. Riječ je uglavnom o otpadu iz rudnika ugljena i postrojenja za preradu ugljena, industrije aluminijske i industrije fosfata. Projekt je predlagao praksu upravljanja i sanacije, s ciljem minimiziranja rizika na odlagalištima industrijskih otpada, u skladu sa zakonodavstvom Europske unije (EU), kao i prilagođenim zakonodavstvom za gospodarenje otpadom i zaštitu okoliša u zemljama zapadnog Balkana, pozivajući se na postojeće direktive EU-a. Projekt je organizirao međunarodni kratki tečaj o upravljanju industrijskim otpadom u okolišu u zemljama zapadnog Balkana, održan 10. – 12. listopada 2006. godine u Zagrebu.

Projekt ERICA²⁵ (engl. *Environmental Risk from Ionising Contaminants*) djelomično je financiran u sklopu Šestog okvirnog Euroatom programa. Ideja projekta bila je izrada integriranog pristupa znanstvenom, regulatornom i društvenom kontekstu problematike učinaka ionizirajućeg zračenja na ljude i biotu, s naglaskom na utjecaj ljudskom

rukom stvorene tehnologije na biotu i ekosustave, posebno kroz sinergiju ionizirajućeg zračenja i kemijskih agensa.²⁶

Osim integriranog istraživačkog pristupa, u okviru projekta stvoren je i ERICA alat, programski paket koji korisnika vodi kroz proces procjene, čuva evidenciju, oblikuje modele izloženosti, uzimajući u obzir statističke veličine i vjerojatnosti pojedinih događaja vezanih za izloženost te obavlja potrebne proračune za procjenu i/ili izračun doza zračenja na odabranu biotu. ERICA se oslanja i na podatke nekoliko postojećih baza znanstvenih podataka koje korisniku alata omogućuju vjerodostojniju procjenu koncentracija aktivnosti u okolišnom mediju te koncentracija radionuklida u bioti i doza povezanih s tim koncentracijama. Baze podataka uključuju većinu radionuklida navedenih u publikaciji br. 38 Međunarodne komisije za radiološku zaštitu²⁷ kao i podatke iz baze FREDERICA,²⁸ koja predstavlja praktično organiziranu kompilaciju postojeće znanstvene literature o istraživanju učinaka zračenja na ljude i biotu te mnogobrojnih terenskih studija. Alat vodi računa i o regulatornim, utvrđenim graničnim vrijednostima dopuštene izloženosti ionizirajućem zračenju pojedinih sastavnica okoliša i ljudi. ERICA osigurava detaljnu znanstvenu podlogu za primjenu u situacijama procjene opravdanosti izvođenja raznih projekata koji zahtijevaju fizički zahvat na lokaciji budući da učinkovito razlikuje neškodljive situacije od mogućih diskutabilnih te pomaže u procesu donošenja odluka u situaciji gdje razlog za zabrinutost postoji.

Procjena rizika je bitna s obzirom da namjena lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali i programi sanacije moraju biti usklađeni s rezultatima odgovarajućih analiza rizika za zdravlje ljudi i okoliš, a i predviđeni plan sanacije nužno mora sadržavati procjenu rizika. Stoga, uzme li se u obzir legislativna obveza procjene rizika za navedene tri lokacije s reziduima u RH, jedna od mogućnosti je primjena programskog paketa ERICA za provođenje navedene procjene. U RH je analiza ERICA-om već provedena za neke od lokacija na kojima se pojavljuju prirodni i antropogeni radionuklidi:

- rezidui u naftnoj industriji,²⁹
- pepeo i šljaka termoelektrane u Kaštelanskom zaljevu,^{30,31}
- fosfogips u Kutini tvornice Petrokemija d. d.,³²
- procjena radiološkog opterećenja u parku prirode Kopački Rit,³³
- pojava i raspodjela cezija (Cs-137) u sjevernom Jadranu kao posljedica nesreće u Černobilu,³⁴
- radionuklidi u Jadranu.³⁵

Osim alata ERICA, za procjenu rizika od prirodnih radionuklida primjenjuje se i programski paket RESRAD BIOTA code³⁶ koji za procjenu doze zračenja za vodenu i kopnenu biotu implementira metodologiju postupnog pristupa Ministarstva za energetiku Sjedinjenih Američkih Država.

Uz navedeno, koncept kontinuiranog radiološkog nadzora lokacije i odgovarajućeg izvještavanja, koji predviđa Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, svakako podrazumijeva održavanje baze podataka i generiranje periodičkih izvješća o lokacijama s reziduima. U tu svrhu trebalo bi razviti

dobro razrađen sustav sinergijskog informiranja o navedenim čimbenicima. To, osim ostalog, podrazumijeva izradu javno dostupnih karata s naznačenim lokacijama pojave prirodno radioaktivnih materijala i rezidua, potencijalnih ili mjerenih ekvivalentnih doza, kao i procjene rizika. S obzirom na to da će navedeni kartografski podatci ovisiti o industrijskim i pratećim prerađivačkim aktivnostima, budućim istraživanjima u području geologije itd., nužno je takav sustav informiranja dizajnirati na tako da bude lako osvježiv, interaktivan i javno dostupan.³⁷

4. Povijesne i potencijalne lokacije s reziduima

U Republici Hrvatskoj postoji niz lokacija s prirodnim pojavama radionuklida, tri javno poznate i u legislativi navedene lokacije s reziduima te niz povijesnih, trenutačnih i potencijalnih lokacija na kojima se rezidui mogu pojaviti.³⁸⁻⁴³

Manje značajne lokacije pojavljivanja rezidua svoju marginalnost mogu zahvaliti bilo manjim količinama rezidua ili niskoj radioaktivnosti. Također, dio takvih lokacija nije se razmatrao kao oni koji predstavljaju rizik, budući da se eksploatacija nekih sirovina s prirodno radioaktivnim materijalima provodila u prošlosti, kad zaštita od ionizirajućeg zračenja nije bila provođena ili je eksploatacija bila samo planirana. Premda se u ovom radu neće predstaviti cjelovit katalog lokacija na kojima se pojavljuju rezidui ili postoji mogućnost njihove pojave (kataloški prikaz lokacija je u prilogu), glave potencijalne lokacije i industrijske aktivnosti koje su karakteristične po mogućnosti pojave prirodnih radionuklida i/ili rezidua u RH dane su u tablici 1.

Od tipova lokacija i industrijskih pogona navedenih u tablici 1, za Hrvatsku su svakako najvažniji: termoelektrana Plomin I i II (tip aktivnosti: "Eksploatacija, oplemenjivanje i korištenje ugljena"; podtip: "pepeo i šljaka nastali spaljivanjem ugljena" i "elektrocentrale na ugljen, održavanje bojlera"), lokacija bivše tvornice Jugovinil u Kaštel Sućurcu i Kaštel Gomilici (tip aktivnosti: "Eksploatacija, oplemenjivanje i korištenje ugljena"; podtip: "pepeo i šljaka nastali spaljivanjem ugljena" i "elektrocentrale na ugljen, održavanje bojlera"), tvornica Petrokemija d. d. u Kutini (tip aktivnosti: "Industrija fosfora i fosfata"; sva tri podtipa) te lokacije eksploatacije nafte i plina (tip aktivnosti: "Proizvodnja nafte i plina"), odnosno postrojenja za održavanje opreme u naftnoj industriji (čišćenje cijevi), s obzirom na to da se na njima pojavljuju najveće i najznačajnije količine navedenih materijala. Ostale, od manjeg utjecaja, primarno se vežu uz podzemne vode i izvore, proizvodnju cementa, povijesnu industriju željeza i čelika te pojave radona.

Primarna zadaća provođenja procjene rizika od prirodnih radionuklida na ljude i biotu te sanaciju lokacija za privremeno pohranjivanje rezidua tako se ne odnosi samo na regulativom istaknute lokacije (termoelektrana Plomin I i II, lokacija bivše tvornice Jugovinil u Kaštel Sućurcu i Kaštel Gomilici i privremeno odlagalište nusproizvoda tvornice Petrokemija d. d. u Kutini) već i na postrojenja (bušotine) za eksploataciju nafte i plina u Hrvatskoj, na kojima se može utvrditi povećana aktivnost uzrokovana prirodnim radionuklidima, lokacije na kojima se obavlja servis i čišćenje

Tablica 1 – Lokacije s mogućim pojavama prirodnih radionuklida i/ili rezidua u Republici Hrvatskoj

Table 1 – Locations of interest regarding the occurrence of natural radionuclides and/or residues in the Republic of Croatia

Tip lokacije / industrijske aktivnosti Type of location / industrial activity	Podtip Subtype	Specifični podtip Specific subtype
podzemne vode i izvori groundwater and springs	geotermalni izvori i toplice hot springs and spas	
	izvori pitke vode drinking water springs	
	lokacije za čišćenje pitke podzemne vode (crpilišta) potable groundwater treatment sites (pumping stations)	
	izvori mineralne vode mineral water springs	
lokacije s monazitom (monacit) locations with monazite		
lokacije pojava niobija i tantala locations of niobium and tantalum occurrences		
proizvodnja kemijskih spojeva torija i proizvoda koji sadrže torij production of thorium compounds and products containing thorium		
proizvodnja nafte i plina production of oil and gas		
proizvodnja TiO ₂ pigmenta production of TiO ₂ pigment		
industrija cirkona i cirkonija zirconia and zirconium industries	prerada kvarcnog pijeska quartz sand processing	
industrija fosfora i fosfata phosphorus and phosphate industries	proizvodnja termalnog fosfora production of thermal phosphorus	
	proizvodnja fosfatnih gnojiva production of phosphate fertilizers	
	proizvodnja fosforne kiseline production of phosphoric acid	
	fosforna šljaka phosphorus slag	
eksploatacija, oplemenjivanje i korištenje ugljena exploitation, processing, and use of coal	ležišta ugljena (potencijalna eksploatacija ugljena) coal deposits (potential coal exploitation)	
	pepeo i šljaka nastali spaljivanjem ugljena ash and slag from the burning of coal	
	elektrocentrale na ugljen, održavanje bojlera coal power plants, boiler maintenance	
proizvodnja cementa, održavanje klinker pećnica cement production, clinker oven maintenance		
industrija željeza i čelika iron and steel industry	proizvodnja primarnog željeza production of primary iron	
	otpadni proizvodi proizvodnje čelika steel production wastes	
	skladišta metala/čelika (staro željezo) metal/steel storage sites (scrap iron)	
taljenje kositra/olova/ bakra melting of tin/lead/copper	kositrena šljaka tin slag	
	bakrena šljaka copper slag	
iskopavanje ruda osim uranija mining other than uranium		

Tip lokacije / industrijske aktivnosti Type of location / industrial activity	Podtip Subtype	Specifični podtip Specific subtype	
ležišta uranijskih minerala deposits of uranium minerals			
radon radon	spilje caves		
	toplice/lječilišta spas / health spas		
	rudnici underground mines		
	radna mjesta pod zemljom ili iznad zemlje na području na kojima se očekuje povećano zračenje od prirodnih radionuklida underground or aboveground workplaces in areas where increased radiation from naturally occurring radionuclides is expected		
građevinski materijali construction material	vapnenac limestone		
	glina clay		
	aluminijški škrljac aluminum shale		
	građevni materijali ili aditivi prirodnog vulkanskog podrijetla construction materials or additives of volcanic origin	granitoidi (npr. granit, sijenit i ortognajs) granitoids (e.g. granite, syenite, and orthogneiss)	
		porfiri porphyry	
		tuf tuff	
pucolan (pucolanski prah) pozzolan (pozzolanic ash)			
lava lava			
boksiti i proizvodnja aluminija bauxites and aluminum production	boksiti bauxites		
	crveno blato/mulj (otpadni proizvod proizvodnje aluminija) red mud (side product of aluminum production)		

opreme za pridobivanje nafte i plina, buduće istraživačke i eksploatacijske lokacije u svezi s pridobivanjem nafte i plina te ostale lokacije u svezi s aktivnostima iz tablice 1 na kojima se dokaže prisutnost radionuklida u koncentracijama iznad regulatorno dopuštenih.

5. Zaključak

Republika Hrvatska je u posljednjih nekoliko godina počela s usklađivanjem i doradom legislative u svezi radiološke i nuklearne sigurnosti te gospodarenja s radioaktivnim i nuklearnim materijalima. Svakako jedan od najvažnijih dokumenata je Nacionalni program provedbe Strategije zbrinjavanja

radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, kojim je Vlada Republike Hrvatske ratificirala Strategiju zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, koja dijelom određuje gospodarenje reziduima. Rezidui su materijali koji se u Hrvatskoj industriji pojavljuju rijetko, budući je hrvatska industrija po pitanju eksploatacije mineralnih sirovina ograničena većinom na eksploataciju građevinskih materijala (tehničkog i arhitektonsko-građevnog kamena, šljunka, pijeska i gline), materijala za proizvodnju cementa, boksita, geotermalne vode i eksploataciju nafte i plina. Uz navedeno, u Hrvatskoj se u termoelektrani Plomin spaljuju inozemni ugljeni s niskim sadržajem radionuklida i obrađuje fosfatna ruda u tvornici Petrokemija d. d. u Kutini, dok ostali industrijski pogoni imaju daleko manju količinu

nusproizvoda koji mogu sadržavati prirodne radionuklide. Bez obzira na malu rudarsku i industrijsku aktivnost, u Hrvatskoj postoji niz lokacija na kojima je nužno provesti procjenu rizika od prirodnih radionuklida na ljude i biotu te sanaciju lokacija za privremeno pohranjivanje rezidua. Legislativno definiran koncept kontinuiranog radiološkog nadzora lokacije i odgovarajućeg izvještavanja svakako podrazumijeva održavanje baze podataka i generiranje peri-odičkih izvješća o lokacijama s reziduima, što zahtijeva razvoj dobro razrađenog sustava sinergijskog informiranja o navedenim čimbenicima. Navedeni sustav morao bi imati javni pristup podacima potencijalnih ili mjerenih ekvivalentnih doza, kartama procjene rizika za pojave prirodno radioaktivnih materijala i rezidua te kartama s naznačenim lokacijama pojave prirodno radioaktivnih materijala i rezidua.

Popis kratica

List of abbreviations

NN	– Narodne novine – Official Gazette
RH	– Republika Hrvatska – Republic of Croatia
ENA	– Europsko udruženje za NORM – European NORM Association
NORM	– Prirodni radioaktivni materijali – Naturally Occurring Radioactive Materials
PRM	– Prirodno radioaktivni materijali – Naturally Occurring Radioactive Materials
DZRSNS	– Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost – State Office for Radiological and Nuclear Safety
RAO	– radioaktivni otpad – radioactive waste
ING	– iskorišteno nuklearno gorivo – spent nuclear fuel
II	– iskorišteni izvori – disused sources
LSA	– niska specifična aktivnost – low specific activity

Literatura

References

- Narodne novine*, Odluka o donošenju Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva – Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine, NN 100/18, (2018).
- Vlada Republike Hrvatske*, Nacionalni program provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva – Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine, (2018).
- Narodne novine*, Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, NN 125/14, (2014).
- URL: <https://ena-norm.eu/> (23. 4. 2019.).
- Narodne novine*, Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 141/13, (2013).
- Narodne novine*, Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 39/15, (2015).
- Narodne novine*, Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 130/17, (2017).
- Narodne novine*, Zakon o izmjenama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 118/18, (2018).
- Narodne novine*, Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu, NN 40/18, (2018).
- Narodne novine*, Odluka o donošenju Strategije radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje 2017. – 2025. godine, NN 65/17, (2017).
- Službeni list Europske unije*, Direktiva Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, SLEU 59/2013 (3013).
- Službeni list Europske unije*, Ispravak Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, SLEU 13/14 (2014).
- Narodne novine*, Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o unutarnjem ustrojstvu Ministarstva unutarnjih poslova, NN 24/19, (2019).
- Narodne novine*, Pravilnik o sadržaju te uvjetima, kriterijima i načinu odobravanja plana sanacije, NN 38/18, (2018).
- Narodne novine*, Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu, NN 121/13, (2013).
- Narodne novine*, Pravilnik o obavješćivanju, registriranju i odobrenjima te prometu izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 54/18, (2018).
- Narodne novine*, Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, NN 36/18, (2018).
- Narodne novine*, Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 53/18, (2018).
- Narodne novine*, Pravilnik o uvjetima i načinu izdavanja i oduzimanja odobrenja za ambalažu za prijevoz radioaktivnih i nuklearnih materijala, NN 42/13, (2013).
- Narodne novine*, Pravilnik o izmjeni pravilnika o uvjetima i načinu izdavanja i oduzimanja odobrenja za ambalažu za prijevoz radioaktivnih i nuklearnih materijala, NN 19/17, (2017).
- URL: <http://www.er-alliance.eu/> (23. 4. 2019.).
- URL: <https://www.eu-neris.net/> (23. 4. 2019.).
- URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/75650/factsheet/en> (23. 4. 2019.).
- URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/75764/factsheet/en> (23. 4. 2019.).
- URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/74117/factsheet/en> (23. 4. 2019.).

26. I. Prlić, A. Mostečak, M. Surić Mihić, Ž. Veinović, L. Pavelić, Radiološka procjena rizika: pregled uporabe ERICA integriranog pristupa i ERICA alata, *Arh. Hig. Rada. Toksikol.* **68** (2017) 298–307, doi: <https://doi.org/10.1515/aiht-2017-68-3020>.
27. ICRP, Radionuclide Transformations – Energy and Intensity of Emissions, ICRP publication **38** (1983) 11–13.
28. URL: <http://www.frederica-online.org/mainpage.asp> (23. 4. 2019.).
29. A. Mostečak, Ž. Veinović, I. Prlić, M. Surić Mihić, M. Šošarić, Norm in the oil and gas industry: ERICA tool assessment of potential impacts of ionising radiation on terrestrial biota, u M. Surić Mihić, I. Prlić (ur.) 3rd Eur. Radiol. Protect. Res. Week, Oct. 1–5, 2018., Rovinj.
30. B. Skoko, Radiološki utjecaj otpada termoelektrane na ugljen na okoliš, disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014., str. 128.
31. B. Skoko, D. Babić, G. Marović, S. Papić, Environmental radiological risk assessment of a coal ash and slag disposal site with the use of the ERICA Tool, *J. Env. Radioact.* **208-209** (2019) 106018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106018>.
32. T. Bituh, B. Petrinec, B. Skoko, Z. Vučić, G. Marović, Measuring and modelling the radiological impact of a phosphogypsum deposition site on the surrounding environment, *Arh. Hig. Rada. Toksikol.* **66** (2015) 31–40, doi: <https://doi.org/10.1515/aiht-2015-66-2587>.
33. B. Petrinec, M. Poje Sovilj, D. Babić, T. Meštrović, I. Miklavčić, V. Radolić, D. Stanić, B. Vuković, M. Šošarić, Assessing the radiological load on the environment in the middle Danube river basin on the basis of a study of the Kopački Rit Nature Park, Croatia, *Radiat. Environ. Biophys.* **57** (3) (2018) 285–292, doi: <https://doi.org/10.1007/s00411-018-0747-4>.
34. D. Pavičić-Hamer, D. Bašić, B. Šimunac, B. Petrinec, M. Štrok, ¹³⁷Cs distribution in the northern Adriatic Sea, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **309** (3) (2016) 989–998, doi: <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4727-3>.
35. B. Petrinec, M. Štrok, Z. Franić, B. Smodiš, D. Pavičić-Hamer, Radionuclides in the Adriatic Sea and related dose-rate assessment for marine biota, *Radiat. Protect. Dosimet.* **154** (3) (2013) 320–330, doi: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs234>.
36. URL: <http://resrad.evs.anl.gov/codes/resrad-biota/> (23. 4. 2019.).
37. Ž. Veinović, D. Perković, A. Mostečak, I. Sharma, M. Surić Mihić, I. Prlić, Gospodarenje reziduima u Republici Hrvatskoj, u A. Anić Vučinić (ur.) XV. Međun. Simp. Gosp. Otp., Dec. 3–5, 2018., Zagreb.
38. G. Marović, I. Prlić, J. Senčar, Z. Franić, Ž. Radalj, Determination of radioactivity in the air using rapid methods in the field, u V. Knapp, N. Debrečin (ur) Proc. 4th Conf. Nucl. Option Country. Small Med. Electr. Grid., Jul. 1–4, 2002., Zadar.
39. G. Marović, J. Senčar, J. Kovač, I. Prlić, Improvement of the radiological environmental situation due to remedial actions at the coal-fired power plant, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **261** (2) (2004) 451–455, doi: <https://doi.org/10.1023/B:JRNC.0000034884.26071.a9>.
40. I. Prlić, G. Marović, R. Turk, T. Bituh, M. Surić Mihić, B. Skoko, T. Meštrović, E. Spitaler, Z. Vučić, TENORM Characterisation, Conditioning and Remediation to be Reused in New Products and Associated Possible Public Member and Occupational Hazard, u D. Pevec, D. Subašić i Z. Šimić (ur), Proc. 8th Conf. Nucl. Option Country. Small Med. Electr. Grid., May 16–20, 2010., Dubrovnik.
41. T. Bituh, G. Marović, I. Prlić, J. Senčar, B. Petrinec, Radioaktivnost i moguća iskoristivost fosfogipsa, u I. Krajcar Bronić, N. Kopjar, M. Milić, G. Branica (ur) Zbor. rad. VIII. simp. Hrv. druš. zašt. zrač. Apr. 13–15, 2011., str. 443–448, Krk.
42. I. Prlić, Provedba radioloških istražnih radova u Gradu Kaštela na lokaciji bivše tvornice Jugovinil i u njezinoj okolici – završno izvješće projekta, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, svezak I–III, 2011., Zagreb.
43. I. Prlić, M. Surić Mihić, Ž. Veinović, A. Mostečak, M. Hajdinjak, G. Marović, NORM as legacy construction filling material – a modern approach according to Directive 2013/59/EURATOM, u N. Beresford (ur) 4th Internat. Conf. Radioecol. Env. Radioactiv. Sept. 3–8, 2017., str. 79–80, Berlin.

SUMMARY

Residues Management within the National Program for the Implementation of the Strategy for the Management of Radioactive Waste, Disused Sources and Spent Nuclear Fuel of the Republic of Croatia

Želimir Veinović,^{a*} Ivica Prlić,^b Trpimir Kujundžić,^a Marija Surić Mihić,^b Dario Perković,^a
Dubravko Domitrović,^a Tomislav Korman,^a Ana Mostečak,^a and Galla Uroić^c

By adopting the National Program for the Implementation of the Strategy for the Management of Radioactive Waste, Disused Sources and Spent Nuclear Fuel, the Government of the Republic of Croatia has ratified the Strategy, which partly defines the management of residues. Given the current legislation, it will be necessary to regulate modifications of the current as well as predict future mining and other industrial activities in which residues appear and are manipulated with. This paper gives a detailed review of relevant legislation, and state of the art recommendations and guidelines for the management of existing and future disposal sites and places for temporary storage of residues.

Keywords

Residues, residue management, radionuclides, mining, industry, irradiation, dosimetry

^a Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva
6, 10 000 Zagreb, Republic of Croatia

^b Institute for Medical Research and
Occupational Health, Ksaverska cesta 2,
10 000 Zagreb, Republic of Croatia

^c Eugena Kvaternika 13, 44 320 Kutina,
Republic of Croatia

Review
Received September 3, 2019
Accepted December 15, 2019