



Univerza v Mariboru

Fakulteta za varnostne vede

Ana Vidrih

RAVNANJE Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI V SLOVENIJI

Diplomsko delo

univerzitetnega študijskega programa Varstvoslovje

Ljubljana, junij 2019



Univerza v Mariboru

Fakulteta za varnostne vede

RAVNANJE Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI V SLOVENIJI

Diplomsko delo

Študentka: Ana Vidrih
Študijski program: univerzitetni študijski program Varstvoslovje
Mentorica:izr. prof. dr. Katja Eman



Zahvala

Za visoko strokovnost, natančnost, ažurnost in potrebne usmeritve ob pisanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Katji Eman.

Hkrati želim izkazati izredno hvaležnost staršema, ki sta mi omogočila kakovostno šolanje in mi pri tem nudila močno podporo. Za spodbujanje in ključne motivacijske govore v zadnji fazi študija pa največjo zahvalo prejme partner Žan.

Ravnanje z radioaktivnimi odpadki v Sloveniji

Ključne besede: radioaktivni odpadki, varno ravnanje, skladiščenje, odlagališče NSRAO, Agencija za radioaktivne odpadke, Slovenija

Povzetek

Izboljšanje kakovosti in udobja našega bivanja, ki ga dosegamo z uporabo virov ionizirajočega sevanja, bi z napačnim pristopom reševanja neizogibnih in neželenih produktov, ki nastajajo pri tem in zahtevajo posebno skrb, lahko za človeka in njegovo okolje pomenilo katastrofalne radiološke obremenitve. Govorimo o ravnanju z radioaktivnimi odpadki, ki so v resnici nevarni, a imamo po mnenju strokovnjakov znane in preizkušene rešitve. Če bi bil problem reševanja z radioaktivnimi odpadki (krajše RAO) le stvar stroke, ne bi bil tako težaven. Ob tem se namreč poraja tudi občutljivo družbeno in politično vprašanje. Za uresničevanje varnega ravnanja z radioaktivnimi odpadki v Sloveniji je potreben učinkovit in sistematičen pristop že v pravni ureditvi. Znano je, da smo z RAO sposobni ravnati tako, da danes in tudi v prihodnosti ne bo škodljivih posledic v okolju. V Sloveniji je za radioaktivne odpadke in izrabljeno gorivo dobro poskrbljeno. Trenutno so varno shranjeni v začasnih skladiščih, poleg tega pa smo v fazi načrtovanja izgradnje odlagališča za nizko- in srednjeradioaktivne odpadke. Na lokaciji Vrbina v občini Krško bomo v naslednjih nekaj letih, za danes začasno skladiščene NSRAO, zagotovili trajno in varno rešitev, na povsem pasiven način. Tako bodo nekoč trajno odloženi odpadki postali nenevarni, njihova radioaktivnost bo upadla, naša generacija (uživalca koristi od jedrske energije) pa ne bo po nepotrebnem preložila bremena na kasnejše generacije. Veliko težje se bomo v prihodnosti spoprijemali z visokoradioaktivnimi odpadki (gre predvsem za izrabljeno gorivo), ki kljub majhni količini, zaradi svoje visoke aktivnosti in dolge življenjske dobe, predstavljajo nevarnost več tisočletij. Končna rešitev zanje pa ni le slovenski, temveč globalni problem.

Management of Radioactive Waste in Slovenia

Keywords: radioactive waste, safe management, storage, LILW landfill, Agency for Radioactive Waste Management, Slovenia

Abstract

By using ionizing radiation sources, we are improving the quality and comfort of our lives, but the wrong approach to solving the problem of the inevitable and unwanted waste that is created in the process and that requires special care could have catastrophic radiological consequences for the people and the environment. The thesis discusses the management of radioactive waste, which is in fact dangerous, but, according to experts, we have adopted known and tested solutions. If the problem of dealing with radioactive waste would lie only in the hands of the profession, it would not be that difficult to solve. However, sensitive social and political issues have been arising lately in connection with this problem. In order to achieve a safe management of radioactive waste in Slovenia, an effective and systematic approach should be incorporated into the legal system. As is known, radioactive waste can be managed in such a way that there are no harmful consequences for the environment, either today or in the future. In Slovenia, radioactive waste and spent nuclear fuel are well taken care of. Currently, they are safely kept in temporary storages; moreover, the construction of a landfill for low and intermediate-level radioactive waste is in the planning phase. In a few years, this landfill will provide a permanent and safe solution for storing low and intermediate-level radioactive waste at Vrbina in the Municipality of Krško, in a completely passive way. Thus, this permanently stored waste will become non-hazardous, as its radioactivity will decrease, and our generation (that is reaping the benefits of nuclear energy) will not unnecessarily leave this burden to future generations. In the future, it will be much harder to deal with high-level radioactive waste (predominantly spent nuclear fuel) which, despite its small quantity, represents a real danger for millennia to come, due to its high activity and long life. The struggle to find an ultimate solution for such waste is not only a Slovenian but a global problem.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Metodološki okvir	3
1.1.1	Namen in cilj	3
1.1.2	Metode dela.....	3
1.1.3	Izvirnost/pomembnost diplomskega dela	4
1.1.4	Hipoteze	4
1.1.5	Struktura diplomskega dela	5
2	RADIOAKTIVNI ODPADKI (RAO)	6
2.1	Splošno o radioaktivnosti	6
2.2	Pojem in raznolikost radioaktivnih odpadkov	8
3	NACIONALNA STRATEGIJA RAVNANJA Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI	12
3.1	Splošni cilji ravnanja z RAO in IG	12
3.2	Osnovna načela ravnanja z RAO in IG	14
4	RAVNANJE Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI V SLOVENIJI	18
4.1	Analiza stanja na področju ravnanja z NSRAO	19
4.2	Analiza stanja na področju ravnanja z IG in VRAO	24
4.3	Jedrski in sevalni objekti pri nas ter njihov vpliv na okolje	28
4.3.1	Centralno skladišče RAO v Brinju in vpliv na okolje.....	30
4.3.2	Varnostne ocene odlagališča	32
5	ZAKONODAJA NA PODROČJU RAVNANJ Z RAO IN IG	35
5.1	Dogovor med Republiko Slovenijo in Republiko Hrvaško o reševanju problematike RAO iz Nuklearne elektrarne Krško	37
6	AGENCIJA ZA RADIOAKTIVNE ODPADKE (ARAO)	39
7	NAČRTOVANJE ODLAGALIŠČA NSRAO V SLOVENIJI	44
7.1	Predstavitev in gradnja idejnega projekta	44
7.2	Terminski načrt odlagališča	47
8	NA KRATKO O RAVNANJU Z RAO V DRUGIH DRŽAVAH	49

9	ZAKLJUČEK	52
9.1	Verifikacija hipotez.....	52
9.2	Razprava in sklepne misli	54
	VIRI IN LITERATURA.....	57
	Priloga A: Inventar.....	63
	Priloga B: Minimalni vplivi dejavnosti ARAO na okolje	65

Kazalo tabel

TABELA 4.1: PODATKI O ŠTEVILU IZRABLJENIH GORIVNIH ELEMENTOV V ZADNIH DESETIH LETIH	26
TABELA 6.1: MEDNARODNE ORGANIZACIJE, PROGRAMI IN PROJEKTI, V KATERIH SODELUJE ARAO	41
TABELA 8.1: ODLAGALIŠČA NSRAO V EVROPI IN NJIHOV STATUS.....	49

Kazalo grafov

GRAF 4.1: LETNA KOLIČINA USKLADIŠČENIH RAO PO VRSTAH V JEDRSKI ELEKTRARNI KRŠKO	21
GRAF 4.2: SKUPNA KOLIČINA NSRAO V NEK PO LETIH, S PRIKAZI OBDELAVE ODPADKOV; NPR. PRVA KAMPANJA STISKANJA ODPADKOV JE BILA IZVEDENA V LETIH 1988/89	22
GRAF 4.3: PROSTORNINA PAKETOV, SKLADIŠČENIH V CSRAO OB KONCU POSAMEZNEGA LETA (2000–2017)	24
GRAF 4.4: ŠTEVILO LETNIH IZRABLJENIH GORIVNIH ELEMENTOV IN ŠTEVILO VSEH ELEMENTOV V BAZENU NEK	26

Kazalo slik

SLIKA 4.1: CENTRALNO SKLADIŠČE ZA RADIOAKTIVNE ODPADKE JE V BRINJU, NA OBMOČJU REAKTORSKEGA CENTRA, V OBČINI DOL PRI LJUBLJANI	31
SLIKA 6.1: ORGANIZIRANOST AGENCIJE ZA RAO.....	40
SLIKA 7.1: KOMPLEKS ODLAGALIŠČA NSRAO OBSEGA: 1. UPRAVNO-SERVISNI OBJEKT; 2. TEHNOLOŠKI OBJEKT; 2.1 VSTOP V NADZOROVANO OBMOČJE; 2.2 TEHNOLOŠKI OBJEKT; 3. ODLAGALNI OBJEKT Z ODLAGALNIM SILOSOM IN HALO NAD SILOSOM.....	45
SLIKA 7.2: PRIKAZ SILOSA IN HALE NAD NJIM	46
SLIKA 8.1: TAKŠNO BO VIDETI ODLAGALIŠČE ZA IZRABLJENO JEDRSKO GORIVO V KRAJU OLKILUOTO NA FINSKEM.....	51
SLIKA 8.2: SISTEM UMETNIH IN NARAVNIH PREGRAD GEOLOŠKEGA ODLAGALIŠČA ZA IZRABLJENO GORIVO; SISTEM KBS-3 – JE NAJBOLJ ZNAN KONCEPT GEOLOŠKEGA ODLAGALIŠČA. RAZVILA GA JE ŠVEDSKA AGENCIJA ZA RAVNANJE Z RAO SKB. MODEL ODLAGALIŠČA V TRDNI KAMNINI KBS-3 JE PREVZELA TUDI FINSKA	51

Uporabljeni simboli in kratice

ARAO	Javni gospodarski zavod ARAO – Agencija za radioaktivne odpadke
BHRNEK	Pogodba med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo
CSRAO	Centralno skladišče za radioaktivne odpadke
EU	Evropska unija
EURATOM	Evropska skupnost za atomsko energijo
IAEA ali MAAE	International atomic energy agency Mednarodna agencija za atomsko energijo
IG	izrabljeno gorivo
IJV	Institut »Jožef Stefan«
JV7	Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
NSRAO	nizko- in srednjeradioaktivni odpadki
RAO	radioaktivni odpadki
ReJSV13-23	Resolucija o jedrski in sevalni varnosti v Republiki Sloveniji za obdobje 2013–2023
ReNPRRO16-25	Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2016–2025
RŽV	Rudnik urana Žirovki vrh
URSJV	Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost
URSVS	Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji
VRAO	visokoradioaktivni odpadki
ZNRAO	zelo nizko radioaktivni odpadki
ZVISJV	Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti
ZVO	Zakon o varstvu okolja

1 UVOD

»Ne na mojem dvorišču!«

Pluralna uporaba radioaktivnosti v sodobni družbi omogoča izboljšanje življenjske ravni, a hkrati ustvarja senzibilno in zaskrbljujoče mnenje laični javnosti, predvsem ko govorimo o odlaganju radioaktivnih odpadkov. Precej informacij o radioaktivnih odpadkih (v nadaljevanju RAO) je nepopolnih ali morda niso razumljive vsakomur, pojem radioaktivnost pa pri ljudeh le dodatno vzbudi strah, saj ga nemalokrat povezujejo s preteklimi jedrskimi nesrečami, zlasti z odmevno nesrečo v ukrajinskem Černobilu ter nedavno katastrofo v Fukušimi na Japonskem, ko so se v javnosti zopet pojavili dvomi o varnosti uporabe jedrske energije. Strah izvira tudi iz dejstva, da pojav ljudem ni znan, ga ne občutimo, zato se ga podzavestno bojimo. Še več, povežemo ga še z vojaško industrijo, političnimi manipulacijami ter ekonomskimi interesi konkurenčnih grupacij na področju energetike. Tako je tudi z RAO. Predstavljate si, da vas danes nekdo seznaní z idejo, da bi v vašem okolišu gradili odlagališče za RAO. Gotovo bi se tudi pri vas porajal »zakon«, ki ga poznajo že povsod po svetu, s kratico NIMBY (Not In My Back Yard), s prevodom *»ne na mojem dvorišču«*. Torej že izbor lokacije odlagališča radioaktivnih odpadkov zahteva dolgotrajen in kondicijski projekt. Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO) si zato prizadeva z javnostjo vzpostaviti odprt in korekten odnos s kakovostim informiranjem na področju ravnanja z RAO. Ugotovljeno je, da dotično področje ni le stvar stroke, temveč tudi družbeno in politično vprašanje.

Znanje in razumevanje sta največje zdravilo v boju proti pretiranemu in neosnovanemu strahu pred sevanjem. Čeprav je pojav razpadanja atomskih jeder težkih elementov star ravno toliko, kot je staro vesolje, ga človek pozna šele od leta 1896, zato ga ne znamo ovrednotiti objektivno. Le stežka si danes predstavljamo življenje brez uporabe virov ionizirajočega sevanja, saj smo vsakodnevno z njimi posredno povezani z dejavnostmi v zdravstvu, raziskavah, industriji in energetiki. Povečuje kakovost naše eksistence, a zatem, ko vir izgubi svojo uporabnost, postane odpadek – RAO. To so vse snovi, ki so se kontaminirale med vzdrževalnimi deli v jedrske elektrarni ali predmeti, ki se uporabljajo pri

delu z radioaktivnimi snovmi v medicini ipd. Pomembno je, da so takšni odpadki izolirani od človeka in da imajo posebno obravnavo. Z našega vidika je relevantno, da se zavedamo, da imamo v pravni ureditvi vsake države zagotovljen najefektivnejši in intencionalen pristop pri reševanju ravnanja z RAO, ki je vpet s strateškim načelom mednarodnega sodelovanja (Žagar, 2016).

Ravnanje z radioaktivni odpadki je vselej zaskrbljujoče v programih jedrske energije. V boju z RAO mora obveljati geslo »od zibelke do groba«. Torej mora generacija, ki odpadke proizvede, te tudi trajno in varno odložiti, kar predstavlja končno rešitev (Letcher, 2014). Trenutno skladiščenje radioaktivnih odpadkov v Sloveniji (v skladišču Nuklearne elektrarne Krško in v Centralnem skladišču v Brinju) ni trajna rešitev, temveč faza, kjer se odpadki shranjujejo do končne rešitve. Skladišča RAO namreč ne predstavljajo enake ravni varnosti kot odlagališča. Varnostni koncept odlagališča temelji na zaporednih inženirskih in naravnih preprekah, ki so med seboj popolnoma neodvisne, kar pomeni, da lahko vsaka opravlja svojo funkcijo v celoti, to pa predstavlja popolnoma pasivno varnost (Stritar, 2015). Čeprav Slovenija proizvede sorazmerno malo RAO, zanje potrebuje trajno rešitev. Slovenija je trenutno vpeta v načrtovanje in gradnjo varnega odlagališča za RAO, kar je smoter nacionalne politike in strategije, a hkrati vprašanje vsake države z jedrskim programom. Načrtovanje takšnega jedrskega objekta mora v svojem obsežnem strateškem mozaiku vsebovati najmanjšo predvideno ranljivost, pa vendarle menimo, da v slovenskem strokovnem prostoru ni razloga za strah, saj je področje dobro raziskano. Želeli bi si, da bi Slovenija sledila najuspešnejšim evropski državam na področju ravnanja za RAO, denimo Finski, Švedski in Franciji.

1.1 Metodološki okvir

1.1.1 Namen in cilj

Namen diplomskega dela je bil proučiti, kakšno je v Sloveniji obstoječe stanje na področju ravnanja z radioaktivnimi odpadki. Takšne vrste stranskih produktov zahtevajo še posebej varno in odgovorno ravnanje ter stalen nadzor od njihovega nastanka, skladiščenja in odlaganja, zato smo se osredotočili na cilj zagotavljanja varnosti za ljudi in okolje pred potencialno nevarnimi odpadki.

Cilj diplomskega dela najprej obsega osnovna znanstveno utemeljena dejstva o radioaktivnosti, saj le tako lahko izboljšamo razumevanje ravnanja z radioaktivnimi odpadki. Zanimalo nas je, kje nastajajo in kakšna je njihova količina. Kako Slovenija pristopa k reševanju varnega ravnanja z RAO in IG, smo preverili tudi skozi zakonodajo in aprobirali uspešen rezultat sodelovanja med povzročitelji odpadkov, upravnimi organi, inšpekcijskimi službami in Agencijo za radioaktivne odpadke. Predstavili smo, kje in na kakšen način pri nas skladiščimo RAO ter kakšni so dotični varnostni vidiki. Analizirali smo stanja na področju posameznih vrst RAO, kakor tudi jedrske in sevalne objekte pri nas in njihov vpliv na okolje, kjer smo se centralizirali predvsem na Centralno skladišče RAO in varnostne ocene odlagališča. Prikazali smo tudi možna izhodišča, ki jih bomo poskušali realizirati v prihodnosti, ter projekt načrtovanega odlagališča za NSRAO.

1.1.2 Metode dela

Metodološka stran diplomskega dela je splošno teoretična. Uporabljeni sta deskriptivna in komparativna metoda. Na ravni opisovanja in primerjanja dejstev smo proučili najrazličnejšo izobraževalno dokumentacijo s področja RAO. Analiza primarnih virov nam je služila pri pregledu zakonodaje s področja RAO in IG. Pri zasnovi diplomskega dela so bili v pomoč tudi sekundarni viri, s pomočjo katerih smo izoblikovali teoretska izhodišča. Zaradi radovednosti smo v raziskovanje, z namenom pridobitve privilegiranih odgovorov

(strokovnjakov), vključili tudi Agencijo za radioaktivne odpadke, Upravo Republike Slovenije za jedrsko varnost ter Jedrsko elektrarno Krško, kamor so bila posredovana atraktivna vprašanja. Med pisanjem smo se udeležili tudi »dneva odprtih vrat« v Centralnem skladišču za radioaktivne odpadke, kjer smo zaposlene strokovnjake povprašali o aktualnih zadevah s področja ravnanja z RAO.

1.1.3 Izvirnost/pomembnost diplomskega dela

Pojem radioaktivnih odpadkov laična javnost v Sloveniji dojema kot vir stalnega strahu in ogroženosti. O tovrstnih odpadkih, ravnanju z njimi in predvsem o njihovem varnem odlaganju, se je zatorej težko racionalno in argumentirano pogovarjati (ARAO, 2008). Radioaktivni odpadki predstavljajo potencialno grožnjo za človeško zdravje in okolje. Vsaka država mora z njimi ravnati varno, zato potrebuje nacionalno strategijo, ki mora vsebovati potrebna in ustrezna določila za ravnanje z RAO na svojem ozemlju. Z njimi mora postopati na način, da se zavarujeta človeško zdravje in okolje zdaj in v prihodnosti, ne da bi bile po nepotrebnem obremenjene tudi prihodnje generacije. Varo ravnanje z RAO temelji na sprejetju ustreznih zakonov, uredb in določitvi upravnega organa za ravnanje z RAO ter razvoju potrebne operative (Jenčič, Mele in Stritar, 1996).

Relevantno je ljudi ozavestiti, da radioaktivni odpadki ter ravnanje z njimi in njihovo varno odlaganje zahtevajo poseben, interdisciplinaren pristop. Družbi lahko predstavljajo izziv, grožnjo ali pa pozitivno priložnost za lokalno okolje. Denimo umestitev odlagališča v lokalno okolje lahko prinese tudi pozitivne rezultate, kot so visoka nadomestila, nova delovna mesta, razvoj infrastrukture in splošen razvoj kraja (ARAO, 2008).

1.1.4 Hipoteze

Pri proučevanju področja radioaktivnih odpadkov smo si zastavili štiri hipoteze (na osnovi deduktivnih virov), okrog katerih se koncipira zaključno delo:

H1: Nastanek radioaktivnih odpadkov je nemogoče preprečiti.

H2: Zaradi razvoja tehnologije predelave in sistema odlaganja radioaktivnih odpadkov so odlagališča tovrstnih odpadkov povsem neškodljiva za ljudi in okolje.

H3: Radioaktivne snovi iz odlagališča tudi v primeru naravne nesreče ne bi prodrle v okolje.

H4: Republika Hrvaška bi s prevzemom deleža RAO iz Nuklearne elektrarne Krško (NEK) ravnala odgovorno in Sloveniji omogočila lažje reševanje problematike in projektiranja odlagališča za NSRAO.

1.1.5 Struktura diplomskega dela

Diplomsko delo zajema sedem ključnih poglavij in se začne s splošnimi pojmi o radioaktivnosti ter raznolikosti radioaktivnih odpadkov. Sledi nacionalna strategija ravnanja z RAO, ki zajema splošne cilje in osnovna načela ravnanja z RAO. Ključno poglavje opisuje oziroma opredeljuje ravnanje z RAO v Sloveniji in zajema dejanska stanja na našem območju. Analizirano je področje ravnanja z RAO v obeh oblikah (na področju nizko in srednje radioaktivnih odpadkov ter na področju visoko radioaktivnih odpadkov). V osrednje poglavje je vključen tudi majhen slovenski jedrski program, pri katerem se osredotočamo na varnostna stališča obstoječega skladišča in prihodnjega odlagališča. Delo je v naslednjem poglavju podkrepljeno še z zakonodajo.

Predstavljen je javni gospodarski zavod, tj. Agencija za radioaktivne odpadke, katere vizija je zagotavljati celovit, dolgoročen in varen sistem ravnanja z RAO v Sloveniji. Ker je naša država v fazi načrtovanja odlagališča, nismo mogli mimo predstavitve idejnega projekta odlagališča za nizko in srednje radioaktivne odpadke. Za konec smo v diplomsko delo vključili še kratek pregled ravnanja z RAO v drugih državah.

2 RADIOAKTIVNI ODPADKI (RAO)

2.1 Splošno o radioaktivnosti

Radioaktivnost je lastnost snovi in pogost pojav v naravi. Obstaja, odkar obstaja vesolje. Gre za pojav, pri katerem atomsko jedro, zaradi neravnovesja med številom nevtronov in protonov, spontano, brez delovanja zunanjih vplivov, razpade. Atomska jedra so namreč stabilna le, če vsebuje uravnoteženo število protonov¹ in nevtronov². Presežek ali manko nevtronov pomeni za jedro presežek energije, kar v jedru povzroča nestabilnost in njegov kasnejši razpad. Ob razpadu nastajajo nova jedra, sprosti pa se veliko energije, nekaj v obliki toplote in nekaj kot ionizirajoče sevanje. Celoten proces spremlja ena ali več vrst sevanja (alfa, beta, gama). Tvrstna nestabilna jedra imenujemo tudi radioaktivna jedra ali radionuklidi, izsevanje presežne energije pa radioaktivni razpad (ARAO, 2006).

Ionizirajoče sevanje³ je le eno od številnih vrst sevanja v našem okolju, ima pa toliko energije, da lahko v snovi povzroči spremembe in med drugim lahko spremeni tudi snovi, ki gradijo živa bitja. Snovi, ki oddajajo ionizirajoče sevanje, krajše imenujemo tudi radioaktivne snovi (ARAO, 2017a). Vsa živa bitja smo ves čas izpostavljeni ionizirajočemu sevanju. Gre za sevanje iz naravnih virov, zato takšnemu sevanju pravimo »sevanje naravnega ozadja«. Viri, ki prispevajo k naravnemu ozadju, so radioaktivna jedra v zemeljski skorji, radon, ki izhaja iz zemlje, kozmični žarki in radionuklidi v lastnem telesu. Skoraj 90 % vsega sevanja, ki ga prejmemo, izhaja iz naravnih virov. Za živa bitja takšno sevanje ni nevarno, saj nima tolikšne moči, da bi v celicah lahko povzročilo večje spremembe (ARAO, 2006). Radioaktivnost v okolju je poleg naravnega tudi umetnega izvora. Umetni viri

¹ Protoni so pozitivno nabiti delci v jedru atoma. Njihovo število v jedru določa, s kakšnim kemičnim elementom imamo opravka (Istenič in Stritar, 1997).

² Nevtroni so nevtralni delci v jedru atoma in so malenkostno težji od protonov (Istenič in Stritar, 1997).

³ Sevanje radioaktivnih snovi imenujemo tudi ionizirajoče sevanje, ker v snovi, skozi katero prodira, povzroča ionizacijo (Istenič in Stritar, 1997).

sevanja so vse snovi in naprave, ki jih uporablja sodobna tehnologija, tj. medicina, raziskovalna dejavnost in industrija (ARAO, 2017a).

Sevanje, ki ga oddaja radioaktivna snov, ima lahko velik vpliv na živo bitje. Ionizirajoče sevanje lahko poškoduje molekule in strukture v celici. Poenostavljeno si sevanje lahko predstavljamo kot potovanje energije skozi prostor. Snov, skozi katero ta energija potuje, del energije absorbira, kar lahko povzroči spremembe v molekulah snovi. Najbolj nas skrbi, da bi sevanje poškodovalo naše gene oziroma molekulo DNA, iz katere so geni zgrajeni. Celice tako ne bi več delovale normalno, lahko bi celo odmrle ali pa bi pri njihovi delitvi prišlo do prenosa napačnih informacij (Kralj, 2011).

Učinki sevanja so lahko somatski (na obsevani osebi) in genetski (na potomcih obsevane osebe). Biološki učinki sevanja so odvisni od prejete doze, kar pomeni od količine energije, ki jo v določenem času sprejmejo celice v telesu. Doza,⁴ ki jo organizem prejme, je odvisna od jakosti sevanja, trajanja izpostavljenosti sevanju, oddaljenosti od vira sevanja, pregrad med virom in organizmom ter od vrste živega bitja (večina preprostejših živih bitij je na ionizirajoče sevanje bolj odporna kot človek). Pred posledicami prevelikih doz ionizirajočega sevanja se zaščitimo z ukrepi varstva pred sevanji. Zaščitni ukrepi so razmero preprosti; čim hitrejši umik od vira sevanja in zaščita s ščitom iz goste snovi, ki sevanje zadržuje (npr. beton ali jeklo). Radioaktivne snovi na površini telesa lahko odstranimo s prhanjem, medtem ko tistih, ki so prišle v telo, bodisi z vodo, zrakom ali hrano, ne moremo odstraniti oziroma moramo počakati, da se odstranijo same (ARAO, 2017a). Zato je pri varstvu pred sevanji najpomembnejše, da preprečimo, da radioaktivne snovi vstopijo v prehranjevalno verigo. Čeprav se zdi presenetljivo, lahko z ionizirajočim sevanjem tudi zdravimo raka. Sevanje je namreč bolj uničujoče za celice, ki se hitro delijo, kot pa za celice, ki se delijo redkokdaj ali pa sploh ne več. Rakave tumorje zato z obsevanjem uničimo hitreje kot druge celice v tkivu (Kralj, 2011).

⁴ Enota za merjenje doze je 1 Sv (1 sievert). Npr. povprečna letna doza sevanja, ki mu je izpostavljen vsak prebivalec Zemlje, je 2,4 mSv. Resne zdravstvene težave se pojavijo, če človek v kratkem času prejme dozo, višjo od 2 do 3 Sv (ARAO, 2017a).

Ob koncu spoznanja osnovnih dejstev o radioaktivnosti in sevanju naj opomnimo še na terminološki lapsus, na katerega smo pogosto naleteli med pisanjem diplomskega dela in se je zelo dobro uveljavil tako v laični kot v strokovni javnosti. Gre za izraz »radioaktivno sevanje«. Strokovnjakinja Mele (2006) pojasnjuje, da je omenjena popačenka lep primer jezikovnega in strokovnega nesmisla. Izraz »radioaktivno sevanje« je strokovno zavajajoč, saj navaja na misel, da je sevanje samo radioaktivno. Sevanje je lahko le ionizirajoče ali neionizirajoče, radioaktivno pa ne more biti. Radioaktivna je le snov, ki sevanje oddaja. Namesto tega izraza moramo uporabljati izraz »sevanje radioaktivnih snovi«.

2.2 Pojem in raznolikost radioaktivnih odpadkov

Radioaktivni odpadki spadajo v posebno skupino odpadkov z nevarnimi lastnostmi in zahtevajo posebno skrb. RAO so že dolgo priznani kot potencialna nevarnost za človeško zdravje in okolje. So vse snovi, predmeti ali oprema, katerih uporaba ni več možna ali smiselna. Njihova specifična aktivnost, tj. aktivnost na enoto prostornine, presega zakonsko omejitve. Posebnost RAO je v tem, da sčasoma postanejo nenevarni; njihova radioaktivnost čez določeno obdobje postane enaka naravnemu okolju. Koliko časa bodo razpadali, je odvisno od razpolovne dobe radioaktivnih snovi, ki jih vsebujejo (ARAO, 2017b).

Radioaktivni odpadki nastajajo, kjer uporabljamo jedrsko energijo in radioaktivne vire; v jedrskem gorivnem krogu, v medicini, raziskovalni dejavnosti in industriji. Če bi želeli povsem preprečiti njihov nastanek, bi se morali v celoti odpovedati številnim dejavnostim, ki so danes nepogrešljive. Večina RAO na svetu nastane v jedrskem gorivnem krogu. Ta vključuje vse dejavnosti, povezane s pridobivanjem rude in njeno začetno predelavo, izdelavo jedrskega goriva, njegovim izgorevanjem v reaktorju jedrske elektrarne in ravnanjem z izrabljenim gorivom (ARAO, 2017b). Pri nas je Nuklearna elektrarna Krško (NEK) ena izmed temeljev elektroenergetske mreže, saj letno proizvede približno 40 % skupne proizvedene električne energije v Sloveniji. Jedrska energija ima torej izredno

pomembno mesto pri proizvodnji električne energije, tako pri nas kot tudi v svetu (NEK, 2017a). Čeprav je jedrska energetika največja povzročiteljica RAO, ti nastajajo tudi v:

- medicini, npr. v diagnostiki oziroma pri ugotavljanju bolezni in obsevanju rakavih tumorjev;
- industriji, npr. pri preverjanju kakovosti materialov (radiografiji), v rudniku urana, v merilnih instrumentih za štetje proizvodov na tekočem traku ali za merjenje ravni tekočin v zaprtih posodah, v javljalnikih požara, pri sterilizaciji opreme in hrane ipd.;
- raziskovalni dejavnosti, zlasti v raziskovalnih reaktorjih, npr. pri raziskavah atomskih jeder, raziskavah zlitja jeder ipd. (ARAO, 2017b).

Glede na precejšnjo količino vseh vrst odpadkov,⁵ ki danes nastajajo v družbi, je količina RAO zelo majhna in obvladljiva. Letno v Sloveniji nastane približno 50 ton vseh radioaktivnih odpadkov. Če nevarni odpadki predstavljajo 3 % vseh odpadkov, je znotraj teh le 0,04 % radioaktivnih (vključno z izrabljenim gorivom). Količine letnih odpadkov v Sloveniji si lahko predstavljamo še drugače:

- količina komunalnih odpadkov na prebivalca ustreza masi enega medveda (476 kg),
- količina NSRAO na prebivalca ustreza masi ene siničke (20 g),
- količina IG na prebivalca ustreza masi ene kobilice (5 g) (ARAO, 2017b).

Kot zanimivost, če bi enako količino električne energije, kot jo proizvede NEK, proizvedli v termoelektrarni na lignit, bi letno nastalo približno 1.500.000 ton pepela, kar je približno deset tisočkrat večja prostornina od sedanje nastalih RAO (ARAO in IJS, 2011). Dr. Jenčič (2012), vodja Izobraževalnega centra za jedrsko tehnologijo na Inštitutu »Jožef Stefan«, celo poudarja, da je elektrika iz jedrske elektrarne najčistejša med vsemi neobnovljivimi viri: *»Malo ljudi pozna dejstvo, da tudi pri kurjenju premoga v termoelektrarni iz dimnika uhajajo določene radioaktivne snovi. Resda jih je malo, pa vendarle. Da ne govorimo o onesnaženju, ki ga povzroča izkopavanje premogove rude na območjih rudnikov. Tako pridemo do spoznanja, da je nastanek okoljske škode zaradi jedrske elektrarne skoraj neverjeten scenarij, pri elektrarnah na premog pa je to že kar pravilo. Vendar pa do kurjenja*

⁵ V Sloveniji letno nastane približno 4.500.000 ton vseh odpadkov (ARAO, 2017b).

premoga nihče nima moralnih zadržkov, nikogar ne motijo ne uničeno okolje, ne umiranje rudarjev, ki ta premog izkopavajo iz globin zemeljske skorje» (Škerl, 2012).

Radioaktivni odpadki so zelo raznoliki ter nastajajo v različnih oblikah z zelo različnimi fizikalnimi in kemičnimi značilnostmi. Od njihovih lastnosti je odvisno tudi ravnanje z njimi. Razlikujejo se glede na agregatno stanje, aktivnost, razpolovno dobo in glede na to, ali se ob radioaktivnem razpadu poleg sevanja sprošča še pomembna količina toplote. Klasifikacije RAO se v državah uporabljajo različno (ARAO, 2017b). Slovenija klasificira radioaktivne odpadke v trdni obliki, glede na njihovo aktivnost, ki je odvisna od koncentracije in vrste radioaktivnih elementov, ki jih vsebujejo («Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom [JV7]«, 2006). Razvrščamo (JV7, 2006):

1. **Prehodno radioaktivne**, pri katerih se prej kot v petih letih skladiščenja specifična aktivnost vsebovanih radionuklidov zniža na raven, pri kateri lahko imetnik v skladu s predpisi opusti nadzor nad njimi.

Primer: snovi, običajno iz medicine.

2. **Zelo nizko radioaktivne** (ali ZNRAO), pri katerih so ukrepi pri ravnanju z njimi, ki zadostujejo, manj strogi. Organ, pristojen za jedrsko in sevalno varnost, se lahko odloči o opustitvi nadzora.

Običajno gre za zemljo ali odpadni material, ki izvira iz onesnaženega območja in vsebuje tudi manjše količine dolgoživih radioaktivnih snovi.

3. **Nizko- in sredneradioaktivne** (ali NSRAO), za katere pri ravnanju z njimi ni treba upoštevati njihove toplotne moči. Njihovo končno odlaganje zahteva inženirske pregrade. Glede na razpolovni čas se razvrščajo v dve skupini:

- kratkoživi NSRAO, ki najkasneje po približno 300 letih, večina pa že precej prej, niso več radioaktivni, in
- dolgoživi NSRAO, katerih aktivnost presega omejitve za kratkožive, kar pomeni, da so lahko radioaktivni bistveno dalj časa.

4. **Visokoradioaktivne** (ali VRAO), ki vsebujejo radionuklide, katerih razpad sprošča toliko toplote, da jo je treba upoštevati pri ravnanju z njimi, poleg tega pa tudi močno sevajo. Takšni odpadki se lahko odlagajo le v globoka geološka odlagališča.

5. **Radioaktivni odpadki z naravnimi radionuklidi**, ki nastajajo pri pridobivanju in predelavi jedrskih mineralnih surovin ali v drugih industrijskih procesih in niso zaprt vir sevanja.

Osnovni skupini delitve RAO sta NSRAO (nizko in srednje radioaktivni odpadki) in VRAO (visoko radioaktivni odpadki) oziroma IG (izrabljeno gorivo). Nizko radioaktivni odpadki nastajajo med vzdrževalnimi deli. So predvsem zaščitna oblačila, oprema in orodje, ki je v uporabi v radiološko onesnaženih prostorih. Nanje sedejo drobni radioaktivni delci, zato so kontaminirani. Takšni odpadki se odvržejo v kovinske sode, s pomočjo močnih stiskalnic pa se njihova prostornina še znatno zmanjša. Manjši del RAO nastaja v plinasti obliki. Te izpuščamo skozi dimnik, količina izpustov pa se meri in uravnava na način, da dopustna količina ni nikoli prekoračena. Srednje radioaktivni odpadki so ostanki radioaktivnih nečistoč iz reaktorskega hladila jedrske elektrarne, ki se zbirajo v posebnih čistilnih filterih; ionizacijski javljalniki požara idr. Zanje poskrbimo na enak način kot za nizko radioaktivne odpadke (ARAO in IJS, 2011). Med visoko radioaktivne odpadke uvrščamo **izrabljeno gorivo** (IG). IG slovenska zakonodaja opredeljuje kot »jedrsko gorivo, ki je bilo obsevano v reaktorski sredici in je trajno iz nje odstranjeno«. Gre za sekundarno surovino, iz katere lahko s predelavo pridobimo predelan uran in plutonij, ki se lahko uporabljata kot surovini za novo jedrsko gorivo. Radioaktivnost VRAO oziroma IG je tako velika, da ga moramo spraviti nekaj metrov pod vodo, za debelo plast betona ali globoko pod zemljo. Zaradi radioaktivnega gretja ga moramo hladiti več let. Medtem ko radioaktivnost večine NSRAO upade na raven naravnega ozadja po približno 300 letih, VRAO sevajo in predstavljajo radiološko nevarnost za več tisočletij (ARAO in IJS, 2011).

3 NACIONALNA STRATEGIJA RAVNANJA Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI

Vsaka država potrebuje nacionalno strategijo, ki vzpostavlja potrebna in ustrezna določila za ravnanje z RAO na svojem ozemlju. Z drugimi besedami, država vzpostavi sistem oziroma skupek posameznih komponent (npr. zakone, upravne organe, upravljavce, objekte itd.), potrebnih za ravnanje z RAO. Razvoj strategije je odvisen od okoliščin v vsaki državi, od njenih struktur in prioritet ter od zvrsti RAO (Jenčič et al., 1996). Strategijo ravnanja z RAO in IG v Republiki Sloveniji opredeljuje nacionalni program.

Osnova za pravilno ravnanje z RAO je pravočasna vzpostavitev učinkovite nacionalne pravne ureditve in pripadajoče infrastrukture. Varnostna stališča za ravnanje z RAO slonijo na mednarodnih izkušnjah, ki jih je Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE ali IAEA) strnila v jasen niz osnovnih načel, standardov, smernic ter postopkov za uresničevanje varnega ravnanja z RAO (Istenič, Mele in Stritar, 1996). V Sloveniji so splošni cilji in sodobna temeljna načela ravnanja z RAO definirani v »Resoluciji o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2016–2025 [ReNPRRO16-25]« (2016).

3.1 Splošni cilji ravnanja z RAO in IG

S sodobnim, varnim in gospodarnim ravnanjem z RAO poskrbimo, da bremen, za katera je mogoče in je treba poskrbeti danes, ne prelagamo na prihodnje rodove. Da bi zagotovili dolgoročne, varne in gospodarske rešitve ravnanja z RAO, moramo uporabiti jedrskih in sevalnih tehnologij v Sloveniji zagotoviti infrastrukturno in strokovno podporo. **Temeljni cilj** ravnanja z RAO in IG je individualna in kolektivna zaščita ljudi in okolja pred ionizirajočimi sevanji in kontaminacijo z radionuklidi. Ta se nanaša na vse objekte in dejavnosti ter na vse faze delovanja jedrskega ali sevalnega objekta, vključno z načrtovanjem, izbiro lokacije, projektiranjem, gradnjo, obratovanjem, razgradnjo in zaprtjem ter dolgoročnim nadzorom

in vzdrževanjem (če gre za odlagališče). Prav tako mora zajemati tudi prevoz RAO. Za doseg temeljnega cilja ravnanja z RAO in IG se uporabljajo varno ravnanje, shranjevanje in skladiščenje vseh RAO v vseh fazah njihovega obstoja, čemur sledijo tudi trajne rešitve odlaganja. Vse naštetе postopke je treba izpeljati učinkovito in racionalno. Biti morajo tudi v skladu z zakonodajo. Odločati in ukrepati je treba na podlagi najnovejših izsledkov domačih in tujih raziskav, najnovejših tehnologij ter najboljših praks in obratovalnih izkušenj (*načelo strokovnosti*). Le s stalnim izobraževanjem, ozaveščanjem in raziskavami bomo izpopolnili strokovni kader in dosegli zastavljene cilje (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Splošni cilji varnega ravnanja z RAO in IG, opredeljeni v Resoluciji (»ReNPRRO16-25«, 2016), so:

Cilj 1: »Zaščititi ljudi in okolje pred nepotrebnimi škodljivimi učinki ionizirajočih sevanj zaradi postopkov ravnanja z RAO in IG, njihovega shranjevanja, skladiščenja in odlaganja v vseh fazah njihovega obstoja« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Cilj 2: »Podpirati in omogočati izvajanje sevalnih dejavnosti in uporabo virov ionizirajočega sevanja tako za pridobivanje energije kot za podporo in krepitev industrije, raziskav, medicine in drugih institucionalnih dejavnosti v skladu z našo zakonodajo in mednarodnih smernic ter standardov« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Cilj 3: »Redno sistematično in na preverljiv način ocenjevati, preverjati ter do razumno dosegljive mere nenehno izboljševati varnost in učinkovitost objektov ali dejavnosti za ravnanje z RAO in IG, v skladu z veljavnim nacionalnim okvirom in pod predpisanim nadzorom pristojnega upravnega organa« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Cilj 4: »Zagotavljati in ohranjati ustrezne finančne in človeške vire, potrebne za izpolnitev obveznosti v zvezi z varnim ravnanjem z RAO in IG« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Cilj 5: »Preprečevati nesreče z radiološkimi posledicami in ublažiti njihove posledice, če bi do njih prišlo, v kateri koli fazi ravnanja z RAO in IG« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

3.2 Osnovna načela ravnanja z RAO in IG

K doseganju že definiranih ciljev prispeva izpolnjevanje načel ravnanja z radioaktivnimi odpadki. Ravnanje z RAO in IG mora potekati tako, da je zagotovljenih devet načel (»ReNPRRO16-25«, 2016). Ta zahtevajo:

1- Varstvo zdravja ljudi

Z RAO in IG je treba ravnati na način, ki zagotavlja sprejemljivo raven varovanja človekovega zdravja. Narava radioaktivnih odpadkov pomeni nevarnost izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju. Človek je glede na sevanje eden od najbolj občutljivih organizmov, zato je pozornost treba posvetiti zaščiti in nadzoru, kjer bi bili ljudje lahko izpostavljeni sevanju. Visoke doze sevanja lahko pri človeku izzovejo katastrofalne biološke posledice – resne zdravstvene težave, motnje v razvoju zarodka med nosečnostjo ali takojšnjo smrt (Kralj, 2011).

2- Varstvo okolja

»Ravnanje z RAO in IG mora potekati tako, da zagotavlja sprejemljive stopnje varovanja okolja« (»ReNPRRO16-25«, 2016). Posebno nevarno je, če radioaktivne snovi kontaminirajo okolje (vodo, zemljo, rastlinje itd.). S tem so ogrožena tudi druga živa bitja. Ob vstopu radioaktivnih snovi v prehranjevalno verigo, le-te končajo tudi pri človeku (Kralj, 2011).

3- Preprečevanje čezmejnih vplivov

Pomeni zagotavljanje, da se bodo upoštevali tudi mogoči učinki na zdravje ljudi in okolje, ki presegajo državne meje. Načelo izhaja iz etične skrbi za človekovo zdravje in okolje v drugih državah. Rešitve predstavljajo priporočila mednarodnih organizacij in soglasja; izmenjava informacij in meddržavni sporazumi (Istenič et al., 1996).

4- Zaščito prihodnjih generacij

»Ravnanje z RAO in IG mora potekati tako, da predvideni vplivi na zdravje prihodnjih generacij ne bodo večji od vplivov, ki so sprejemljivi danes« (»ReNPRRO16-25«, 2016). Stremeti moramo k osamitvi RAO v dolgih časovnih obdobjih (Istenič et al., 1996).

5- Izogib prenašanja bremen prihodnjim generacijam

Generacija, ki uživa korist od početja, naj prevzame odgovornost za ravnanje z nastalimi odpadki. Na prihodnje generacije se lahko prenesejo le nekateri ukrepi, kot denimo nadaljevanje institucionalnega nadzora nad odlagališčem, če je potreben. Vsekakor pa si ne smemo privoščiti zavlačevanja dolgoročnih institucionalnih aranžmajev (Istenič et al., 1996).

6- Notranji pravni okvir

»Ravnanje z RAO in IG mora potekati v skladu z notranjim pravnim redom, vključno z jasno razdelitvijo odgovornosti med posameznimi deležniki. Notranji pravni okvir je treba redno prilagajati najnovejšim izsledkom raziskav, razvoju tehnologij ter najboljših praks in izkušenj« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

7- Nadzor nad nastajanjem radioaktivnih odpadkov

Nastajanje RAO in IG mora biti omejeno na najmanjšo možno mero, tako v smislu dejavnosti kot količine; z različnimi ukrepi in postopki načrtovanja, denimo s predelavo in ponovno uporabo snovi (»ReNPRRO16-25«, 2016).

8- Soodvisnost ravnanja in nastajanja RAO

Medsebojne odvisnosti vseh različnih faz nastajanja in ravnanja z RAO in IG morajo biti primerno upoštevane (Istenič et al., 1996).

9- Varnost objektov za ravnanje z RAO in IG

V vsej življenjski dobi objektov za ravnanje z RAO mora biti zagotovljena ustrezna dolgoročna varnost, le z uporabo pasivnih varnostnih funkcij (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Poleg osnovnih je treba upoštevati še druga načela (»ReNPRRO16-25«, 2016):

10- Načelo strokovnosti (opredeljeno med splošnimi cilji)

11- Načelo povzročitelj plača

»Za varnost ravnanja z RAO in IG je primarno odgovoren imetnik dovoljenja za izvajanje sevalne dejavnosti. Če povzročitelj RAO in IG ni znan ali ga ni več in tudi nima pravnega naslednika, odgovornost za ravnanje z RAO ali IG prevzame država« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

12- Načelo stopenjskega pristopa

Ukrepi za zagotavljanje varnosti se izvajajo stopenjsko.

13- Vnos in iznos, uvoz in izvoz RAO

Za vnos in iznos iz držav članic EU, uvoz in izvoz v Slovenijo veljajo omejitve in zahteve, določene z notranjo zakonodajo in zakonodajo EU ter mednarodnimi oziroma dvostranskimi pogodbami (»ReNPRRO16-25«, 2016).

14- Raziskava in razvoj metod za ravnanje z RAO in IG

Strategija RS na področju ravnanja z RAO in IG naj bo usmerjena v novo tehnološko znanje in sodelovanje z mednarodno raziskovalno skupnostjo (»ReNPRRO16-25«, 2016).

15- Načelo mednarodnega sodelovanja

Gre za načelo sporazumov in dejavno sodelovanje pri mednarodnih in regionalnih prizadevanjih za napredek pri skupnih programih odlaganja (»ReNPRRO16-25«, 2016).

16- Načelo zagotavljanja strokovne podpore in usposobljenosti delavcev

17- Načelo skupne rešitve

»Slovenija se zaveda odgovornosti za ravnanje z RAO in IG ter njihovo odlaganje in si bo v skladu z meddržavno pogodbo BHRNEK⁶ prizadevala, da se zagotovi

⁶ Skupno lastništvo NEK od leta 2003 ureja meddržavna pogodba BHRNEK (»Zakon o ratifikaciji Pogodbe med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo in Skupne izjave ob podpisu Pogodbe med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo [BHRNEK]«, 2003).

učinkovita skupna rešitev za razgradnjo in odlaganje RAO in IG iz NEK« (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Poleg vseh naštetih načel mora ravnanje z RAO potekati tako, da so zagotovljena tudi splošna načela jedrske in sevalne varnosti, ki so opredeljena v Resoluciji o jedrski in sevalni varnosti (»Resolucija o jedrski in sevalni varnosti v RS za obdobje 2013-2023 [ReJSV13-23]«, 2013).

4 RAVNANJE Z RADIOAKTIVNIMI ODPADKI V SLOVENIJI

Ravnanje z RAO pomeni vse upravne in operativne dejavnosti, vključene v skrb za NSRAO in IG: predelavo, obdelavo, kondicioniranje,⁷ skladiščenje in odlaganje. Vključen je tudi transport (EC, IAEA in OECD/NEA, 1999).

Pri ravnanju z RAO je treba upoštevati pravila, ki jih opredeljujejo Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (»ZVISJV-1«, 2017) ter ustrezni podzakonski akti. Sistem ravnanja z RAO je zasnovan tako, da zagotavlja:

- stalni nadzor nad vsemi radioaktivnimi viri v vseh fazah (od uporabe do odlaganja),
- da so za ravnanje z RAO ves čas odgovorni imetniki odpadkov,
- natančne evidence o uporabi radioaktivnih snovi – v zdravstvu, raziskavah in v gospodarstvu, vključno z jedrsko elektrarno,
- natančne evidence o nastalih RAO (ARAO, 2017c).

Nacionalni program v Republiki Sloveniji (»ReNPRRO16-25«, 2016) predvideva najprej skladiščenje RAO in IG oziroma shranjevanje odpadkov za določeno obdobje, nato pa trajno odlaganje oziroma njihovo dokončno odstranitev iz človekovega okolja (brez namena vnovične uporabe). Skladišča RAO so torej jedrski objekti, kjer se začasno shranjujejo odpadki, in zahtevajo aktivno varnost, tj. vrsto ukrepov zagotavljanja varnosti hrambe ter zaščito ljudi in okolja, medtem ko so odlagališča jedrski objekti, kamor končno odložimo odpadke, brez namena premestitve. Naknadne človekove aktivnosti za zagotavljanje varnosti in varovanja okolja po zaprtju odlagališča niso več potrebne, kar pomeni pasivno varnost in s tem ključno prednost (ARAO, 2016). Slovenija RAO in IG skladišči na dveh lokacijah, v Krškem in v Brinju pri Ljubljani. Odlagališča za zdaj še nimamo za nobeno vrsto radioaktivnih odpadkov.

⁷ Uravnavanje temperature, vlažnosti ter klimatiziranje (»Fran«, 2016).

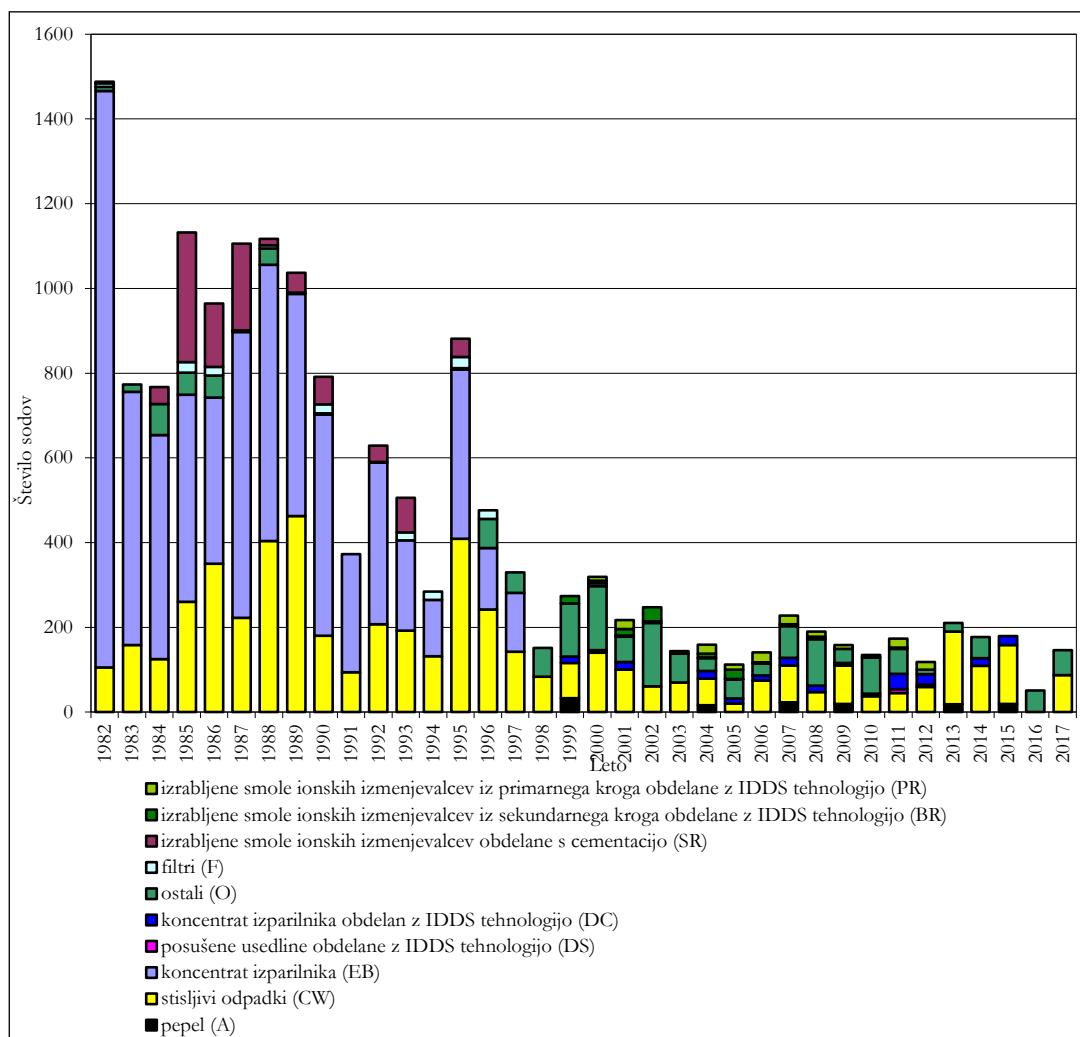
Strategije ravnanja z RAO temeljijo na predvidenem obratovanju Nuklearne elektrarne Krško do leta 2043 in na meddržavni pogodbi BHRNEK. Osnovni scenarij pri pripravi programa ravnanja z RAO in IG za Slovenijo je predvidena gradnja odlagališča za NSRAO na lokaciji Vrbina (Krško) in suhega skladišča za IG v NEK (*več o tem v nadaljevanju*).

4.1 Analiza stanja na področju ravnanja z NSRAO

V Sloveniji letno nastane približno 40 m³ nizko- in srednjeradioaktivnih odpadkov. Devet desetih teh odpadkov nastane v NEK, preostalih deset odstotkov pa pri malih povzročiteljih; v medicini, industriji ter raziskovalno-izobraževalnih ustanovah (možne so tudi najdbe odpadkov, ko je povzročitelj neznan in ga ni mogoče ugotoviti). Vsi NSRAO, ki nastanejo v NEK, so skladiščeni v skladišču na lokaciji elektrarne, ki je tudi odgovorna za skladiščenje vseh svojih RAO. Delež odpadkov malih povzročiteljev pa je uskladiščen v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju pri Ljubljani in je v neposredni bližini raziskovalnega reaktorja TRIGA. V preteklosti so RAO z naravnimi radionuklidi nastajali tudi pri odkopavanju in predelavi uranove rude v rudniku Žirovski vrh (RŽV). Ti odpadki so že odloženi na odlagališčih rudarske jalovine Jazbec in hidrometalurške jalovine Boršt na lokaciji rudnika (*»ReNPRRO16-25«*, 2016).

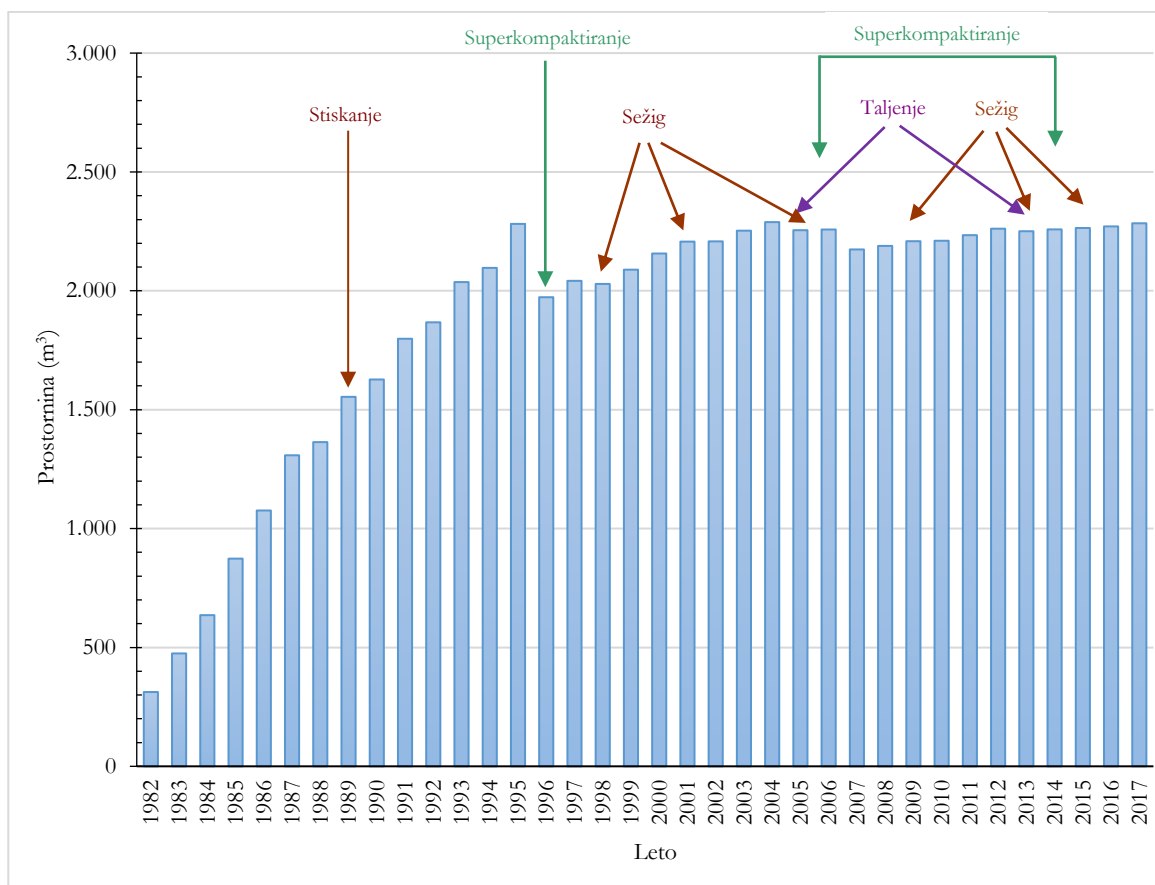
Prednostni način ravnanja z RAO je v tem, da jim s tehnologijo obdelave in priprave zmanjšajo prostornino, izločijo radionuklide, spremenijo sestavo odpadkov in minimizirajo izpust radioaktivnih snovi v okolje. V NEK strmijo k maksimalnemu zmanjševanju volumna nastajajočih NSRAO, kar dosežejo s stiskanjem, superkompaktiranjem, sušenjem, zažiganjem, taljenjem, prepakiranjem. Izbira metode je odvisna od agregatnega stanja RAO (*»ReNPRAO16-25«*, 2016). Pri obratovanju Nuklearne elektrarne Krško nastajajo trdni, tekoči in plinasti RAO. V NEK se ostanki plinov izpuščajo v okolje po ventilacijskem sistemu z nadzorovanim izpustom prek visoko učinkovitih filtrov. Plinski izpusti se izvajajo strogo v skladu s predpisi, tako kot tudi tekočinski. Čiščenje odpadne radioaktivne vode poteka z izparevanjem in z ionsko izmenjavo. Prečiščena voda se pred izpustom zadrži v nadzornem zbiralniku zaradi laboratorijske kontrole in preverbe glede omejitev. Po administrativni

odobritvi se lahko voda izpusti v reko Savo (NEK, 2017b). Produkt, ki nastane pri obdelavi radioaktivne tekočine, je koncentrat s povišano vsebnostjo radionuklidov, ki ga dodatno pripravijo do oblike, primerne za skladiščenje. Kot rezultat obdelave plinastih in tekočih odpadkov nastaja delež trdnih odpadkov. Del preostalih trdnih odpadkov nastaja neposredno pri vzdrževalnih delih in čiščenju. Razdelimo jih v pet tokov odpadkov: koncentrat izparilnika (pripravljen po tehnologiji sušenja v sodu), izrabljene smole ionskih izmenjalnikov, izrabljeni filtri, stisljivi odpadki in drugi odpadki. Vsi ti NSRAO so shranjeni v standardnih sodih in cevastih vsebnikih. Skladiščijo se v začasnem skladišču NEK, tj. protipotresno grajena armiranobetonska stavba s površino 1.470 m². Operativni dolgoročni cilj NEK je ohraniti količino nastalih NSRAO pod 35 m³ letno, temeljna usmeritev pa zmanjšanje nastajanja in že nastalega radioaktivnega odpada. Leta 2017 je bilo v skladišče NEK uskladiščenih 159 standardnih sodov s trdnim NSRAO. Količino uskladiščenih RAO po vrstah si lahko ogledamo tudi na Graf 4.1, kjer lahko v letih 1999, 2004, 2006, 2009, 2013 in 2015 opazimo tudi količino pepela, ki je produkt sežiga večje količine sodov z gorljivimi RAO, ki jih je NEK prejel iz Švedske, po tem, ko jih je v letih poprej poslal tja v sežig (URSJV, 2018).



Graf 4.1: Letna količina uskladiščenih RAO po vrstah v Jedrski elektrarni Krško (vir: URSJV, 2018).

V preteklih letih je bila z metodami redukcije volumna zmanjšana prostornina nastalih RAO. Ob koncu leta 2017 je tako znašala 2.284 m³. Na Graf 4.2 je podana kumulativna bilanca odpadkov v skladišču NSRAO v NEK. Razvidno je občasno zmanjšanje prostornine; zaradi stiskanja, superkompaktiranja, taljenja in sežigov. Zmanjšana rast nastajanja RAO po letu 1995 je posledica uvedbe novega sistema za sušenje koncentrata izparilnika in izrabljenih smol ionskih izmenjevalcev. Odpadke, ki so namenjeni za sežig in taljenje, izločijo in zaradi pomanjkanja prostora ob superkompaktorju začasno premestijo v zgradbo za dekontaminacijo. V isti zgradbi je bilo konec leta 2017 shranjenih tudi 350 paketov stisljivih odpadkov, ki so pripravljeni za sežig na Švedskem (URSJV, 2018).



Graf 4.2: Skupna količina NSRAO v NEK po letih, s prikazi obdelave odpadkov; npr. prva kampanja stiskanja odpadkov je bila izvedena v letih 1988/89 (vir: URSJV, 2018).

Ob koncu leta 2016 je bilo skladišče z manipulativnima prostoroma zasedeno več kakor 96-odstotno. Do začetka obratovanja odlagališča NSRAO Vrbina, vendar ne dlje kot do leta 2020, je po ocenah NEK za skladiščenje izvedljiva še uporaba rezervnega prostora v celici skladišča, operativna rezerva pa se bo zagotavljala v manipulativnem prostoru skladišča.

NSRAO nastajajo tudi pri obratovanju, vzdrževanju in pri laboratorijskem delu v Raziskovalnem reaktorju TRIGA Mark II z vročo celico, z namenom raziskav, šolanja in proizvodnje izotopov (upravljevec je IJS). Količina NSRAO,⁸ ki pri tem nastane, ni velika

⁸ Izrabljena ionska smola, kontaminirana eksperimentalna oprema, vzorci, zaščitna sredstva in aluminijasti obsevalni vsebniki («ReNPROAO16-25«, 2016).

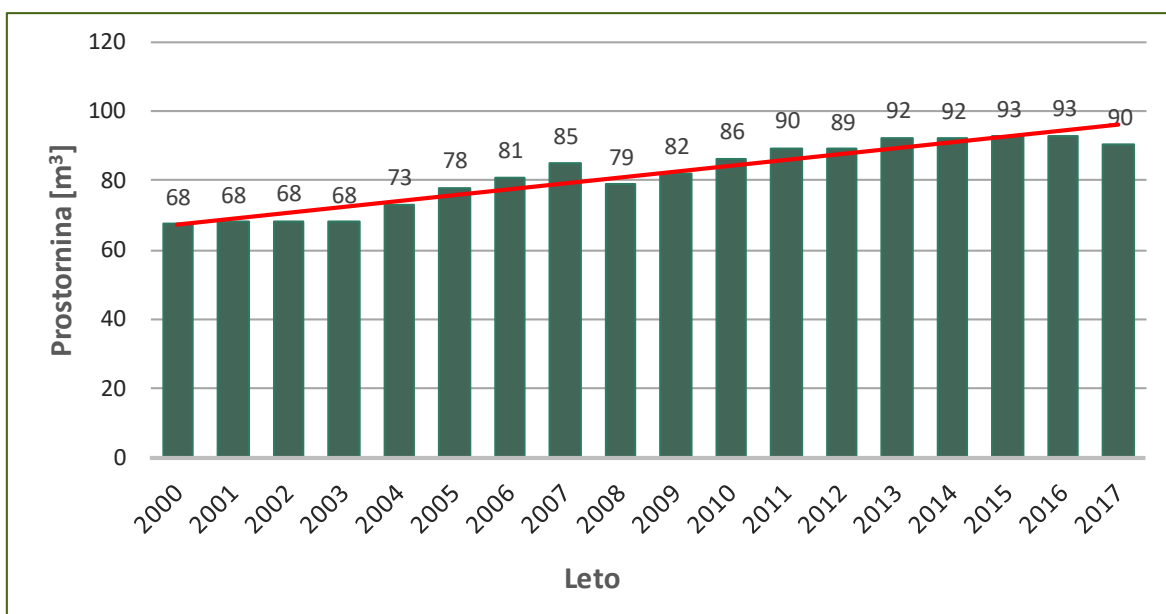
(znaša manj kot 0,5 m³ letno) in se lahko začasno shranjuje v objektu vroče celice⁹ in nato skladišči v CSRAO v Brinju (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Kadar so količine radioaktivnih odpadkov majhne (približno 2 m³ na leto), so produkt »malih povzročiteljev«. T. i. mali povzročitelji morajo ravnanje z RAO prepustiti pooblaščenemu izvajalcu javne službe, ki razpolaga z ustrezno infrastrukturo, opremo in znanjem. Pooblaščen izvajalec javne službe je Agencija za radioaktivne odpadke (krajše ARAO). S strokovnim in odgovornim ravnanjem z RAO nudi pomembno infrastrukturno podporo izvajanju družbeno koristnih dejavnosti (ARAO, 2017d). Mali povzročitelji torej predajo NSRAO v ravnanje in skladiščenje v CSRAO v Brinju, ki ga upravlja ARAO. Čeprav je količina NSRAO, ki nastaja v medicini, raziskavah in industriji, razmeroma majhna, je ravnanje z njimi zahtevno in manj predvidljivo, saj obsega: prevzem, prevoz, obdelavo in pripravo za skladiščenje (v prihodnosti tudi za odlaganje), skladiščenje in upravljanje CSRAO. Učinkovit nadzor nad takšnimi odpadki je rezultat sodelovanja med povzročitelji odpadkov, upravnimi organi, inšpekcijskimi službami in ARAO (Kralj, 2009). RAO malih povzročiteljev so predvsem kontaminirani predmeti – trdni RAO (tkanina, orodje, steklene posode, filtri ipd.) ter izrabljeni zaprti viri, ki so del obsevalnih naprav v medicini, zaprti viri sevanj, ki se uporabljajo v napravah v industriji, javljalniki požara ipd. Ko so ustrezno pripravljene in obdelane, so uskladiščene v CSRAO. Večina odpadkov je shranjena v kovinskih sodih (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Odgovore o količinah NSRAO v Centralnem skladišču v Brinju nam je za namen diplomskega dela poročala Agencija za RAO. ARAO prevzame 2 do 3 m³ RAO letno; predlani 1,5 m³. Konec leta 2017 je bilo v CSRAO skladiščenih 90,4 m³ trdnih radioaktivnih odpadkov (bruto količine, kar pomeni radioaktivne odpadke vključno z embalažo, ohišji naprav, notranjimi pregradami ali absorpcijskim sredstvom). Skupna masa je bila 50 ton in skupna aktivnost 3,4 TBq (*osnovna enota aktivnosti je becquerel (Bq), ki pomeni razpad enega jedra na sekundo*).

⁹ Zmogljivost shrambe je približno 5 m³, zasedenih pa je manj kot 10 % razpoložljive zmogljivosti (»ReNPRAO16-25«, 2016).

Prostornina, ki jo odpadki zavzemajo v skladišču, kljub novim sprejemom odpadkov narašča upočasnjeno. Vzrok je v obdelavi skladiščenih RAO, katere namen je doseganje meril, da odpadki izpolnjujejo pogoje za varno skladiščenje, kot tudi zmanjševanje prostornine. V letu 2017 je bilo teh obdelav veliko, zato je zmanjšanje prostornine radioaktivnih odpadkov v skladišču precejšnje, za približno 4 m³. Količino skladiščenih NSRAO po letih (v CSRAO) prikazuje Graf 4.3.



Graf 4.3: Prostornina paketov, skladiščenih v CSRAO ob koncu posameznega leta (2000–2017). Vir: ARAO, 2018.

Zmogljivost skladišča je 115 m³. Zasedenost skladišča je približno 80-odstotna. V ARAO računajo, da bo zmogljivost zadoščala do izgradnje odlagališča za NSRAO, ko bodo NSRAO iz CSRAO tja tudi trajno odložili. V odlagališču bodo poleg omenjenih odpadkov tudi NSRAO iz NEK.

4.2 Analiza stanja na področju ravnanja z IG in VRAO

Izrabljeno gorivo pri nas nastaja le v Jedrski elektrarni Krško in v raziskovalnem reaktorju TRIGA Mark II. Količina IG je majhna, skladišči pa jo trenutno le NEK, ki je kot upravljavec

jedrskega objekta, odgovoren zanj. Za skladiščenje IG iz raziskovalnega reaktorja mora poskrbeti Institut »Jožef Stefan«, ki ga je doslej v celoti vrnil proizvajalcu goriva v ZDA. VRAO bodo nastali tudi pri razgradnji obeh jedrskih objektov. Po njenem prenehanju obratovanja bodo količine VRAO še vedno ostale majhne, sploh če primerjamo količine drugih držav. Odgovornost za upravljanje in končno odlaganje teh odpadkov bo prevzela ARAO. Med VRAO spadajo predvsem odpadki, ki nastajajo pri recikliranju IG v novo jedrsko gorivo, hkrati pa tudi IG, kadar ga ne predelamo, ampak le trajno odložimo. Visokoradioaktivni odpadki so tudi dolgotrajno obsevane določene snovi v sredici jedrskega reaktorja. Zaradi svoje visoke aktivnosti in dolge življenjske dobe produktov je ravnanje s takšnimi odpadki zelo zahtevno. Ravnanje z VSRAO predvideva, da je treba:

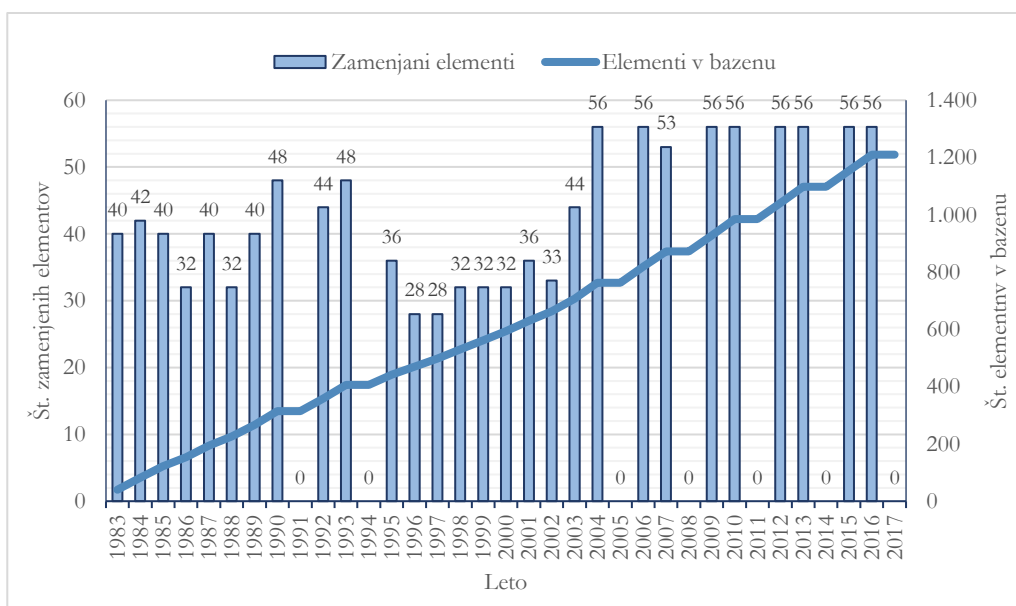
- 1- izrabljeno gorivo najprej mokro skladiščiti v bazenu za IG skupaj z aktivnimi sistemi za hlajenje bazena,¹⁰ čemur bo sledilo
- 2- pasivno suho skladiščenje IG, nato
- 3- nadaljnja obdelava in pakiranje za odlaganje IG oziroma VRAO ter končno
- 4- odlaganje odpadkov v globokem geološkem odlagališču, ki zagotavlja ustrezno časovno osamitev odpadkov od okolja (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Vso izrabljeno gorivo v NEK je shranjeno v bazenu za IG, ki ima na razpolago 1694 celic. Na vsakih 18 mesecev v NEK poteka zamenjava gorivnih elementov – v povprečju se ob vsakem remontu zamenja 56 gorivnih elementov. V letu 2017 še ni bilo rednega remonta. Ob koncu leta 2017 je bilo tako v bazenu za izrabljeno gorivo shranjenih skupno 1210 gorivnih elementov, upoštevajoč tudi dva posebna kontejnerja z gorivnimi palicami (»SBFR1« in »FRSB1), kar je prikazano v Tabela 4.1 in na Graf 4.4.

¹⁰ Časovna vrednost hlajenja IG v bazenu je približno 5 let.

Tabela 4.1: Podatki o številu izrabljenih gorivnih elementov v zadnjih desetih letih (vir: URSJV, 2018).

Leto	Iz sredice	V bazenu
2008	0	872
2009	56 (+1)	929
2010	56	985
2011	0	985
2012	56	1041
2013	56 (+1)	1098
2014	0	1098
2015	56	1154
2016	56	1210
2017	0	1210



Graf 4.4: Število letnih izrabljenih gorivnih elementov in število vseh elementov v bazenu NEK (vir: URSJV, 2018).

Skupna masa izrabljenega goriva je do zdaj že več kot 448 ton (NEK, 2017c). Trenutna zmogljivost skladiščenja, konkretno bazena, za IG ne zadošča za normalno obratovanje do leta 2023, saj je treba število gorivnih elementov v bazenu zmanjšati. Optimalno rešitev predstavlja gradnja suhega skladišča, ki izboljšuje jedrsko varnost z zmanjšanjem števila gorivnih elementov v bazenu. Po nacionalnem programu je gradnja suhega skladišča temeljni pogoj za obratovanje NEK do leta 2043.

Na Upravo RS za jedrsko varnost je bilo v sklopu pisanja diplomskega dela posredovano vprašanje, v kateri fazi je gradnja suhega skladišča za IG pri nas, saj je Resolucija predvidevala obratovanje že v letu 2018. Odgovor oziroma realno stanje je, da se gradnja še ni začela, saj trenutno poteka pridobivanje dovoljenja za gradnjo. Pričakuje se, da bo skladišče začelo obratovati leta 2019/2020 in naj bi obratovalo 60 let (z možnostjo podaljšanja). Zadnja premestitev IG iz bazena v suho skladišče je predvidena najpozneje 10 let po prenehanju obratovanja NEK. Gorivo pa se lahko premesti in bazen preneha obratovati prej, če se to izkaže kot ekonomsko in varnostno učinkovitejše. Kapaciteta skladišča bo tolikšna, da bo skladiščeno vso IG iz NEK (2282 gorivnih elementov), imelo bo tudi dodatne prostore za HLW iz NEK. Načrtovanje zdaj poteka po načrtu, se je pa »zataknilo« pri izvajanju javnega naročanja v preteklih letih, ko je NEK leta 2015 za najugodnejšega ponudnika izbral ameriško podjetje. Neizbrani francoski dobavitelj se je nato pritožil na Državno revizijsko komisijo. Ker je pritožba temeljila na dvomu v tehnične lastnosti izbrane ponudbe, se je celoten postopek zaključil šele v letu 2017. S tem je bila gradnja preložena, posredno pa se zaradi tovrstnih zamud zmanjšuje oziroma ovira izboljšanje jedrske varnosti.

Kaj pravzaprav pomeni suho skladišče iz varnostnega vidika za NEK? Gre za varnostno nadgradnjo, ki bo izvedena znotraj obstoječega jedrskega objekta in v skladu z veljavnimi predpisi in omejitvami, ki veljajo za obstoječi jedrski objekt. Nov način skladiščenja IG bo predstavljal varnejšo rešitev skladiščenja že zdaj obstoječega materiala, tveganje za nesrečo z izrabljenim gorivom pa se bo vsekakor zmanjšalo. Ne bo niti nobenih potreb po dodatnih ukrepih izven lokacije za obvladovanje morebitnih izrednih dogodkov. S tem se bo izboljšala jedrska varnost celotnega objekta (URSJV, 2018).

Tehnološki napredek v zadnjem desetletju ponuja možnost proučitve tudi sodobnih možnosti predelave in recikliranja IG v predelano jedrsko gorivo. Predelava goriva je namreč industrijska praksa že v številnih državah, denimo v Franciji, Nemčiji, Veliki Britaniji, Španiji itd. S predelavo se iz izrabljenega goriva izločijo še koristne snovi za nadaljnjo uporabo: 96 % prvotne mase predstavljata uran in plutonij, torej ostanejo le še 4 % VSRAO

(*manjšinski aktinidi, cepitveni produkti, strukturni materiali*). Predelava lahko torej bistveno zmanjša prostornino in radiotoksičnost odpadkov za končno odlaganje. Možnosti in rešitve se vsekakor odpirajo, a vse na koncu zahtevajo rešitev v obliki globokega geološkega odlaganja IG oziroma VRAO. Gradnja globokega geološkega odlagališča – bodisi nacionalnega, regionalnega ali večnacionalnega – je nujna in potrebna rešitev («ReNPRRO16-25», 2016).

Po mnenju Stritarja končna rešitev za VRAO ni le slovenski, temveč globalni problem. Ker je v Evropi trenutno 18 držav z nuklearnimi elektrarnami, bi bilo absurdno, da bi imeli toliko tudi odlagališč. Slovenija mora na tem mestu sodelovati in stremeti za skupno geološko odlagališče v eni od držav EU, hkrati pa za primer, če skupno odlagališče ne bi bilo mogoče realizirati, načrtovati tudi geološko odlagališče v Sloveniji za odpadke iz lastnega jedrskega programa¹¹ (2015). ARAO v okviru pobud za skupno geološko odlagališče v eni od držav EU sodeluje v delovni skupini Evropske organizacije za razvoj geološkega odlagališča – ERDO-WG (*European Repository Development Organisation (ERDO) Working Group*), katere poslanstvo je priprava organizacijskih osnov za uresničitev razvoja skupnega evropskega pristopa k odlaganju IG in VRAO. Sodeluje tudi v aktivnostih evropske tehnološke platforme IGD-TP (*Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste technological Platform*), ki omogoča pridobivanje znanj in kompetenc za izgradnjo geološkega odlagališča za IG in VRAO (ARAO, 2017e).

4.3 Jedrski in sevalni objekti pri nas ter njihov vpliv na okolje

V Sloveniji imamo majhen jedrski program. Poglejmo si, kaj obsega.

- 1) Jedrska elektrarna Krško je največji jedrski objekt pri nas in je v obratovanju že od leta 1983, njeno lastništvo pa si delimo s sosednjo Republiko Hrvaško.

¹¹ V «ReNPRRO16-25» (2016) je predvideno, da bodo do leta 2045 opravljene primerjalne študije, idejni projekti in pripravljene kadri za takšno odlagališče. V prihodnjih letih bodo iskali primerno in družbeno sprejemljivo lokacijo, potrdili pa jo bodo do leta 2055.

- 2) Raziskovalni reaktor TRIGA Mark II (v Brinju pri Ljubljani) je drugi jedrski objekt pri nas. Obratuje od leta 1992, v raziskovalne namene, njegov upravljavec je IJS.
- 3) Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov za skladiščenje trdnih NSRAO malih povzročiteljev v obratovanju. Upravlja ga ARAO.
- 4) Sanirano odlagališče rudarske jalovine – jalovišče Jazbec, iz zaprtega Rudnika urana na Žirovskem vrhu. ARAO izvaja dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča, s tem, ko je bilo leta 2015 zaprto.
- 5) Odlagališče hidrometalurške jalovine – jalovišče Boršt, iz zaprtega Rudnika urana na Žirovskem vrhu je v fazi konca sanacije. ARAO začenja izvajati dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča.
- 6) Odlagališče NSRAO na lokaciji Vrbina v občini Krško je v fazi gradnje in ga že lahko umestimo med naše jedrske objekte. V časovnem načrtu je začetek obratovanja odlagališča predviden leta 2020 («ReNPRRO16-25«, 2016).

Osredotočimo se na varnostne ocene jedrskega programa pri nas. Za nove objekte ter postopke za ravnanje z RAO je treba opraviti oceno varnosti in oceno vpliva na okolje, ki mora biti v skladu z nacionalnimi upravnimi zahtevami. V ocenah morata biti proučeni in prikazani (ne)radiološka varnost pri normalnem obratovanju ter dolgoročna varnost, hkrati pa morajo biti ocenjeni možni učinki nezgod in nesreč. Gre za varnost delavcev, javnosti in okolja (zemlje, vode, zraka, flore in favne) in naravnega bogastva. Ocene dolgoročnih učinkov obrata morajo upoštevati vsebnost radionuklidov, fizikalne in kemijske lastnosti odpadkov, ki naj bi jih obrat vseboval, ter učinkovitost pregrad v obratovalnem sistemu. Te ocene morajo temeljiti na eksperimentalnih podatkih (Jenčič et al., 1996). O tem, da je ocenjevanje takšnih sistemov kompleksno in polno pasti, pišejo številni strokovnjaki. Če govorimo o pasivnih jedrskih objektih, tj. odlagališčih, se ocene nekoliko razlikujejo od aktivnih objektov, kot so jedrska elektrarna in skladišča, kjer je zahtevana nenehna navzočnost ljudi. Takšne sisteme lahko ogrozijo potencialni viri, kot so ekološka kriminaliteta, naravne nesreče, napake človeškega ali tehničnega faktorja ipd. V preteklosti je že prihajalo do katastrofalnih jedrskih nesreč. Najhujša jedrska nesreča v zgodovini

človeštva se je zgodila leta 1986 v ukrajinskem Černobilu. Manj kot desetletje nazaj pa je svet ponovno pretresla nesreča v jedrski elektrarni v Fukušimi na Japonskem.

4.3.1 Centralno skladišče RAO v Brinju in vpliv na okolje

Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov (prikazano na Slika 4.1) je pri nas trenutno nujen objekt za uresničevanje ciljev varstva okolja, saj v Sloveniji še ni zgrajeno trajno odlagališče, kamor bi RAO lahko odlagali. Prav tako takšnih snovi, kot so RAO, ne moremo pustiti, da nenadzorovano ostajajo pri povzročiteljih. Skladišče v Brinju nam torej zagotavlja prostor, kjer se varno in od okolja izolirano shranjujejo kratkoživi in dolgoživi RAO nizke in srednje radioaktivnosti, ki v Sloveniji nastajajo pri malih povzročiteljih. Ključni problem pri ravnanju s tovrstnimi odpadki je, da lahko kontaminirajo druge odpadke, zato jih ni dovoljeno mešati z drugimi vrstami odpadkov (Kralj, 2009).

Agencija za radioaktivne odpadke od leta 1999 skrbi za redno vzdrževanje in posodobitev Centralnega skladišča za RAO. Skrbi tudi za posodobitev vgrajenih sistemov, za varovanje in za monitoring radioaktivnosti okolice. Jedrsko in sevalno varnost skladišča dokazuje tako, da poskrbi za zagotavljanje dokumentacije in dovoljenj za izvajanje dejavnosti (ARAO, 2018a). Na podlagi varnostnega poročila je ARAO za CSRAO pridobil obratovalno dovoljenje aprila 2008 (lani se je po desetih letih podaljšalo do leta 2028). Pred tem so morali zgradbo in tehnične sisteme prenoviti in posodobiti, karakterizirati in prepakirati uskladiščene odpadke, da je skladišče ustrezalo strogim pogojem. Varnostno poročilo je najpomembnejši dokument, ki preverja in dokazuje varnost objekta v vseh fazah njegovega obstoja – s stališča varnosti prebivalstva in zaposlenih ter z vidika zaščite okolja. Tovrsten dokument zahteva jedrska zakonodaja za vsak jedrski in sevalni objekt. Za CSRAO je bilo ugotovljeno, da ob upoštevanju ustreznih ukrepov skladišče lahko obratuje varno za zdravje ljudi in da so njegovi vplivi popolnoma sprejemljivi. ARAO, ki upravlja skladišče, je leta 2007 pridobila tudi certifikat ISO 14001:2004, ki se podeljuje organizacijam, ki so se zavezale, da želijo na področju varstva okolja izpolnjevati višje standarde, kot so določeni z zakonom (Kralj, 2009).



Slika 4.1: Centralno skladišče za radioaktivne odpadke je v Brinju, na območju Reaktorskega centra, v občini Dol pri Ljubljani (vir: ARAO, 2017).

Naše skladišče za RAO je grajeno tako, da je delno vkopano v zemljo ter prekrito s plastjo zemlje. Stene in tla so iz armiranega betona, je dobro izolirano, tako da ovira širjenje sevanja in radionuklidov v okolje. Opremljeno je s prezračevalnim sistemom in s sodobnim sistemom zagotavljanja požarne varnosti. Objekt je tako fizično kot tehnično varovan (ARAO, 2018a). Na podlagi monitoringa radioaktivnosti so vplivi CSRAO na okolje zanemarljivi, saj v ARAO postopajo po načinu:

- da so RAO vedno v paketih (pri čemer ni možno prehajanje snovi v okolje),
- da ravnajo po predpisanih postopkih in izkušnjah dobre prakse,
- da najbolj zmanjšajo tveganje za izredni dogodek (npr. visoka strokovna usposobljenost zaposlenih, tehnični in fizični nadzor ipd.),
- da se tekočine na območju CSRAO zbirajo v podzemnem zbiralniku, ki se prazni kontrolirano,
- da zračni izpusti iz skladišča prehajajo v okolje skozi filtre (ARAO, 2018).

Ker je skladišče varnostno dobro prilagojeno in ocenjeno, nas je zanimalo, ali obstaja konkretna grožnja varnosti CSRAO. Na Agenciji za RAO so nam podali zadovoljiv odgovor. V objektu sta kot možna izredna dogodka (ob različnih vzrokih, npr. napaka pri delu ali na električni napeljavi, teroristično dejanje ipd.) prepoznana požar in razsutje radioaktivnih odpadkov. Analiza scenarijev v primeru navedenih izrednih dogodkov je pokazala, da so zgradba skladišča, vgrajeni sistemi ter tehnologija skladiščenja takšni, da bi bil sevalni vpliv na delavce, prebivalstvo in okolje pod zakonsko določenimi omejitvami.

4.3.2 Varnostne ocene odlagališča

Če želimo verodostojno oceno varnosti odlagališča za RAO, moramo oceno izvesti za najtežje in najhujše dogodke, za katere je verjetno, da se v odlagališču zgodijo. Že samo ocenjevanje – kolikšna količina radioaktivnih izotopov bo zapustila odlagališča, kako hitro bodo potovali skozi različne zapore okrog odlagališča v okolico in kako daleč bodo pripotovali – zahteva več kot le dobro razumevanje celotnega odlagalnega sistema, razvoja možnih dogodkov, dobro poznavanje geologije, občutek za modeliranje, odlično poznavanje računalniških programov ter njihovih zmogljivosti in omejitev, predvsem pa obilo trezne presoje in občutka pri izvajanju izračunov in interpretaciji rezultatov. Ker je problem izrazito interdisciplinaren, zahteva usklajeno delo različnih strokovnjakov. Napačno reševanje bi lahko privedlo do katastrofalnih radioloških obremenitev za okoliško prebivalstvo in okolje (Mele, 2004). Odlagališče v končni obliki mora biti tako varnostno suvereno, da ga ne bi mogel poškodovati tudi najmočnejši potres. Ker odlagališče ni stroj, temveč popolnoma pasivna naprava, kjer so RAO z več plastmi različnih materialov ločeni od okolja, naj okvare ali nesreče ne bi bile možne. Odlagališče je v končnem zaprtem stanju kompaktna podzemna betonska struktura, ki ji tudi močno tresenje ne more škodovati. Poleg tega so vsi odpadki trdne snovi in tako ne more priti do puščanja škodljivih tekočin. Za izbor lokacije odlagališča se morajo upoštevati vse njene naravne lastnosti, ki bodo preprečile gibanje radionuklidov, kot so: litološke razmere (zaželeno neprepustnost za vodo), potresne in udorne aktivnosti (minimalna aktivnost), vodne razmere (idealna bi bila puščava), padavine in temperature ter nagib terena. Hkrati je treba upoštevati tudi naseljenost in strinjanje lokalnega prebivalstva ter prometne povezave izbrane lokacije (Stritar in Istenič, 1997).

Prednost trajnega odlaganja pred shranjevanjem RAO v skladiščih je pasivna varnost, saj je odlagališče zgrajeno tako, da obratovalno osebje (po zaprtju) sploh ni potrebno (potreben je le občasen nadzor). Na površju nad zaprtim odlagališčem sevanje ni povečano, temveč je enako sevanju naravnega okolja. Upoštevati je treba načelo večkratnosti umetnih pregrad (npr. odpadki so vloženi v sode, ki so vloženi v večje betonske bloke, ti pa še v večje betonske strukture), ki ga mora dopolniti še zadnja pregrada, tj. geološko okolje. Za

odlaganje odpadkov so najboljša območja iz granitov, gline, skrilavcev ali soli. V svetu sta se v grobem uveljavila dva načina za odlaganje NSRAO – podzemno odlaganje in površinsko odlaganje. Površinsko odlagališče je res cenejše in preprostejše od podzemnega. Gre za suhe bazene, v katerih so zabetonirani sodi z odpadki, bazeni pa so zasuti z ilovico. Uspešno je tovrsten način razvila in vpeljala Francija, uporablja pa se tudi v Španiji, na Češkem in v ZDA (Dimic, Istenič in Stritar, 1997). Gledano prostorsko in z vidika vkomponiranja v okolje pa se nedvomno zdi primernejše podzemno ali pripovršinsko oziroma tip silos. V obeh primerih odlagališče (z negativne strani) pomeni nekaj hektarjev izgubljene površine, na kateri ni mogoča kmetijska ali gospodarska dejavnost (Dimic et al., 1997).

Če želimo torej načrtovati odlagališče RAO, moramo sistematično usposablјati ekipo in razvijati znanje za izvajanje ocen lastnosti in varnostnih ocen za prihodnje odlagališče. S tem je pri nas leta 1997 začela ARAO. Skupina, sestavljena iz strokovnjakov iz različnih slovenskih organizacij, se je vključila v program ISAM pri Mednarodni agenciji za atomsko energijo ter vzporedno začela s postopkom izbora lokacije za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (Železnik, 2004). Danes že skrbno načrtujejo gradnjo odlagališča.

Današnja tehnologija predelave in sistem odlaganja RAO onemogočata sevanje in pronicanje radioaktivnih snovi iz okolja, zato so odlagališča tovrstnih odpadkov povsem neškodljiva za ljudi in okolje. Teoretično bi lahko radioaktivne snovi iz odlagališča prodrle v okolico le s pomočjo vode, ki bi jih raztopila in prenesla v podtalnico. To preprečimo s skrbno izbranimi vodoneprepustnimi naravnimi in umetnimi pregradami. Načrti takšnih objektov predvidijo vse možne nesreče, tako da tudi v primeru teh ne bi prišlo do radiološke nesreče, da bi sevalni vpliv presegal zakonsko določeno omejitev (Istenič in Stritar, 1997).

Vseskozi govorimo o odlagališčih za NSRAO, zato se nam pri tem lahko poraja vprašanje, kaj pa VRAO. Odlagališče za NSRAO in odlagališče za VRAO uporabljata različni tehnologiji odlaganja, pa tudi zahteve po naravnih lastnostih zemljišča so različne, saj so pri VRAO strožje, načrtovanje pa zahtevnejše. Skupno odlaganje običajno ni smiselno, a obstajajo izjeme. Odlagališča VRAO mora zagotoviti varnost za več tisočletij, gradnja predvsem

politične odločitve, ki jih je v demokratičnem svetu zelo težko doseči. Problem so tudi ekonomski razlogi (Istenič in Stritar, 1997). Predvsem države z manjšim jedrskim programom upajo, da se bo vzporedno z nacionalnimi odlagališči razvila »ponudba« skupinskih odlagališč, kar številni strokovnjaki zelo zagovarjajo. Na svetu še ni zgrajenega odlagališča za visokoradioaktivne odpadke in izrabljeno gorivo.

5 ZAKONODAJA NA PODROČJU RAVNANJ Z RAO IN IG

Že Ustava Republike Slovenije (»URS-NPBP«, 2013) v 72. členu določa: »Vsakdo ima pravico do zdravega življenjskega okolja, pri čemer država skrbi za zdravo življenjsko okolje in v ta namen z zakonom določa pogoje in načine za opravljanje gospodarskih in drugih dejavnosti«. Te določbe so podlaga za pravno urejanje področja jedrske in sevalne varnosti. Slovenska zakonodaja na področju ravnanja z RAO je obsežna in usklajena z mednarodnimi standardi. K nam so prineseni temeljni varnostni standardi Mednarodne agencije za atomsko energijo, slovenski pravni red pa je usklajen s pravnim redom Evropske unije (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Področje jedrske tehnologije, kamor sodi tudi področje ravnanja z RAO in IG, je še posebej skrbno regulirano. V Sloveniji je za ravnanje z RAO in IG najpomembnejša zakonodaja s področja jedrske in sevalne varnosti, hkrati pa je treba upoštevati tudi zakonodajo s področja varstva okolja, zdravja, urejanja prostora ter graditve objektov. Nacionalna politika in strategija jedrske varnosti sta jasno določeni v strateškem dokumentu, ki ga je sprejel Državni zbor pod naslovom Resolucija o jedrski in sevalni varnosti v Republiki Sloveniji za obdobje 2013–2023. Omenjeni dokument vključuje vse vidike jedrske in radiološke varnosti, vključno z RAO in IG. Glavna načela resolucije temeljijo na varnostnih smernicah IAEA. Nacionalna politika in strategija ravnanja z RAO in IG je še podrobneje opisana v drugem dokumentu, ki ga je Državni zbor sprejel leta 2016. To je Resolucija o Nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim jedrskim gorivom za obdobje 2016–2025 (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Glavna zakona, ki opredeljujeta ravnanje z RAO in IG, sta Zakon o varstvu okolja (»ZVO-1-UPB1«, 2006) in Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (»ZVISJV-1«, 2017). Določata, da je za ravnanje z RAO in njihovo odlaganje obvezna državna gospodarska javna služba, katere način izvajanja ureja »Uredba o načinu, predmetu in pogojih opravljanja gospodarske javne službe ravnanja z radioaktivnimi odpadki« (1999). ZVISJV-1 (2017) tudi določa, da za vse jedrske objekte z RAO veljajo še dodatna pravila, ki jih določa

jedrska zakonodaja. Temeljni dokument, ki opredeljuje vse vidike jedrske in sevalne varnosti jedrskih objektov, je varnostno poročilo. Hkrati je tudi osnovni dokument za pridobitev dovoljenja za obratovanje objekta. Ravnanje z RAO in IG je še podrobneje opredeljeno v Pravilniku o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom. Ta določa razvrščanje odpadkov glede na stopnjo in vrsto radioaktivnosti, obvezen program gospodarjenja z RAO, način sortiranja, predelave, pakiranja, označevanja, skladiščenja in odlaganja ter izpuste. Hkrati prepoveduje redčenje RAO, določa pa tudi načine evidentiranja in poročanja upravnim organom ter način vodenja centralne evidence RAO in IG – informacija javnega značaja (Kralj in Železnik, 2011).

Pri pripravi vseh zakonodajnih dokumentov so upoštevana mednarodna priporočila in smernice. Temeljni dokument predstavlja »Pogodba o ustanovitvi Evropske skupnosti za atomsko energijo (EUROATOM)« (1957) in »Direktiva Sveta 2011/70/EUROATOM« (2011) o vzpostavitvi okvira Skupnosti za odgovorno in varno ravnanje z RAO in IG (Kralj in Železnik, 2011).

Poleg osnovne zakonodaje nekatere »podrobnosti« v zvezi z ravnanjem z RAO in IG določajo še drugi zakoni, npr. Zakon o skladu za financiranje razgradnje NEK in odlaganje RAO iz NEK (»ZSFR«, 2003) s pravili delovanja namenskega sklada (v katerem se zbira denar za razgradnjo in odlaganje RAO iz jedrske elektrarne), Zakon o državni upravi (»ZDU-1«, 2005), kjer so določene obveznosti in pristojnosti upravnih organov, Zakon o odgovornosti za jedrsko škodo (»ZOJed-1«, 2010), Zakon o nadzoru izvoza blaga z dvojno rabo (»ZNIBDR«, 2004), Zakon o prevozu nevarnega blaga z določili o prevozu radioaktivnih snovi, vključno z odpadki (»ZPNB«, 2006), Zakon o trajnem prenehanju izkoriščanja uranove rude in preprečevanju posledic rudarjenja v Rudniku urana Žirovski vrh (»ZTPIU«, 2006) ter predpisi s področja fizičnega varovanja ter zaščite in reševanja.

V odločanje na področju ravnanja z RAO in IG so vključena številna ministrstva, a najpomembnejša pristojna upravna organa sta:

- Uprava RS za jedrsko varnost na Ministrstvu za okolje in prostor – izvaja upravne naloge in nadzor na področju jedrske in radiološke varnosti jedrskih objektov, kamor sodijo tudi objekti za skladiščenje, ravnanje in odlaganje RAO in IG, nadzoruje njihovo fizično zaščito, promet, prevoz ter odloča o vseh zadevah, ki so povezane s procesi v objektih. URSJV torej odobri vsako obdobje v obstoju jedrskih objektov, izvede potrebne preglede in presoje, opravi inšpekcijske preglede objektov in naprav ter je pooblaščen za sprejetje ukrepov (URSJV, 2015).
- Uprava RS za varstvo pred sevanji na Ministrstvu za zdravje – skrbi za varstvo ljudi pred sevanji ter za spoštovanje omejitev dovoljenih doznih obremenitev posameznikov (zdravstveni nadzori izpostavljenih delavcev, nadzori delovnih mest, dozimetrija, evidence doz), nadzor uporabe virov sevanja v zdravstvu in veterinarstvu, in pa izobraževanje na področju varstva pred sevanji (Kralj in Železnik, 2011).

Zakonodaja na dotičnem področju je torej obsežna in natančna ter prispeva k zagotavljanju jedrske varnosti in varstva pred sevanji. A kljub temu brez ustreznega znanja, ozaveščenosti in odgovornosti vseh oseb, ki so vpete v delo z RAO, ne bi bila tako učinkovita (Kralj in Železnik, 2011).

5.1 Dogovor med Republiko Slovenijo in Republiko Hrvaško o reševanju problematike RAO iz Nuklearne elektrarne Krško

Fokus bomo preusmerili na meddržavno pogodbo, ki od marca 2003 ureja skupno lastništvo NEK, h kateri sta zavezani Slovenija in Hrvaška. Gre za Pogodbo med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v NEK, njenim izkoriščanjem in razgradnjo (»BHRNEK«, 2003). S to pogodbo državi med drugim soglašata tudi o skupni obveznosti, da bosta zagotovili učinkovito skupno rešitev za razgradnjo in odlaganje RAO in IG z gospodarskega stališča in stališča varovanja okolja. Šele ko državi ugotovita, da skupna rešitev ni možna, to vprašanje rešujeta ločeno (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Obe pogodbenici sta dolžni prevzeti svoj delež RAO in IG ter zagotoviti varne rešitve ravnanja z njimi, saj ju k temu zavezuje že omenjena pogodba. Državi sta ustanovili tudi meddržavno komisijo za spremljanje izvajanja te pogodbe, a se sestaja redko; revidirata se najmanj vsakih pet let. Ob zasedanju komisije novembra 2017 je Hrvaška ob tej priložnosti sporočila, da slovenska ponudba iz leta 2015 za odlaganje hrvaškega dela odpadkov iz NEK v odlagališču v Vrbini pod temi pogoji zanjo ni sprejemljiva. Na zasedanju leta 2017 je bila imenovana mešana komisija, ki naj bi v letu 2018 skušala zblížati stališča o odlaganju radioaktivnih odpadkov iz Krškega (I. Daris, intervju, 23. 5. 2018). Na zadnjem zasedanju meddržavne komisije konec januarja 2019 v Zagrebu sta se pogodbenici dogovorili o nadaljevanju iskanja rešitev o podrobnih pogojih, pod katerimi bi se lahko izvedel projekt skupnega odlagališča. Omenjena komisija naj bi se znova sestala septembra letos, ko naj bi bilo znano tudi več o možnih rešitvah glede odlagališča (Janjič, 2019).

Slovenija se zaveda odgovornosti za ravnanje z RAO in IG ter njihovo odlaganje in si bo v skladu z meddržavno pogodbo BHRNEK prizadevala, da se zagotovi učinkovita skupna rešitev za razgradnjo in za odlaganje RAO in IG iz NEK. V ARAO (ki sicer nima pristojnosti urejanja teh vprašanj) so prepričani, da ima glede na majhen obseg jedrskega programa (ena jedrska elektrarna v skupnem lastništvu) skupna rešitev odlaganja radioaktivnih odpadkov številne varnostne, ekonomske, družbene in gospodarske prednosti za obe državi. To potrjujejo konkretne številke. Stroški investicije v odlagališče v Vrbini za en silos (za slovensko polovico odpadkov) so po investicijskem programu, potrjenem julija 2014, ocenjeni na 157,5 mio € (po stalnih cenah). V primeru dogovora s Hrvaško bi bilo treba zgraditi dva odlagalna silosa. Investicijska vrednost tako povečanega odlagališča bi znašala 178,2 mio € (po stalnih cenah). Vsaka država bi prispevala približno polovico zneska (Slovenija nekoliko več, saj bi v odlagališče poleg NSRAO iz NEK odložila tudi institucionalne NSRAO iz medicine, raziskav in industrije), kar bi bilo za obe državi cenejše. Vsekakor bi bila vzajemnost držav pri reševanju problematike RAO in IG ter projektiranje odlagališča NSRAO lažja in relevantna (I. Daris, intervju, 23. 5. 2018).

6 AGENCIJA ZA RADIOAKTIVNE ODPADKE (ARAO)

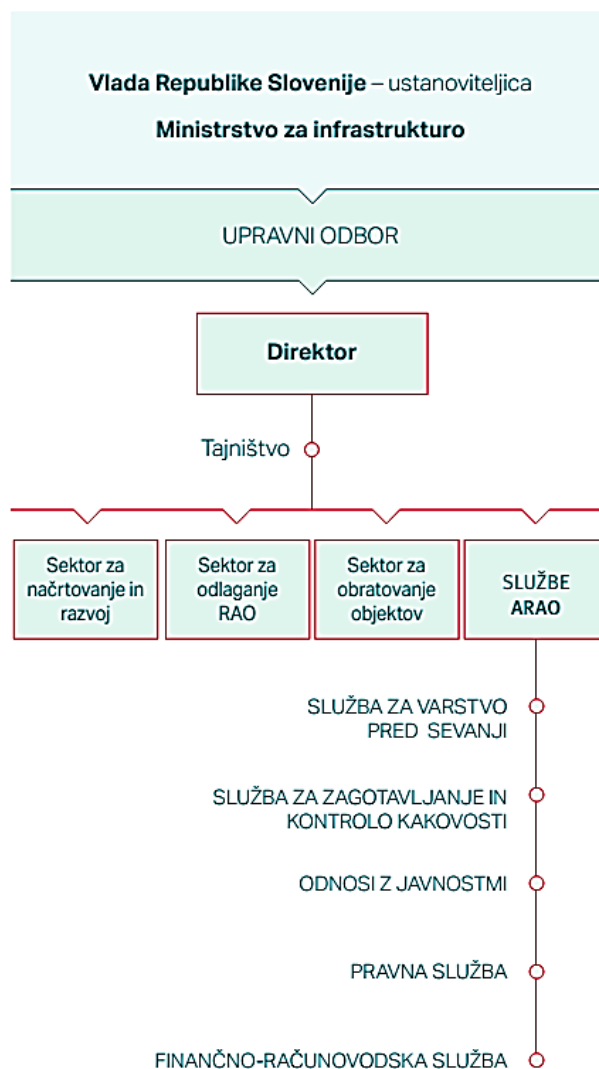
Obvezno državno gospodarsko javno službo ravnanja z RAO, kot je opredeljena v ZVISJV-1 (2004), izvaja ARAO kot samostojna izvajalska organizacija. Deluje pri Ministrstvu za infrastrukturo oziroma Direktoratu za energijo. Agencijo za radioaktivne odpadke je leta 1991, zavedajoč se svoje odgovornosti pri zaščiti okolja in zdravja ljudi, ustanovila Vlada Republike Slovenije. Sprva je bila naloga ARAO le zgraditi odlagališče nizko- in sredneradioaktivnih odpadkov, a so bile njene naloge in pristojnosti kmalu razširjene na celotno področje RAO. Leta 1999 je bila sprejeta »Uredba o načinu, predmetu in pogojih opravljanja gospodarske javne službe ravnanja z RAO« (1999), z določili, da morajo zdravstvene in raziskovalne ustanove ter industrijska podjetja ravnanje z RAO prepustiti izvajalcu obvezne državne gospodarske javne službe (ARAO, 2016a). Za izvajanje javne službe je tako pooblaščen ARAO, ki izvaja neprofitno dejavnost, kar pomeni, da je ni mogoče zagotavljati na trgu, storitve pa v javnem interesu trajno in nemoteno zagotavlja država.

Poslanstvo ARAO je, da z dolgoročnimi, varnimi in gospodarnimi rešitvami ravnanja z RAO zagotavlja infrastrukturo in strokovno podporo uporabi jedrskih in sevalnih tehnologij v Sloveniji. Zagotavljati želi celovit sistem ravnanja z vsemi RAO, skladen s standardi varovanja ljudi in okolja. Varnost ter okoljska in družbena sprejemljivost sta vodili dela zaposlenih. ARAO izvaja naslednje dejavnosti:

- 1- ravnanje z RAO t. i. malih povzročiteljev: prevzemanje, zbiranje, prevažanje, predelavo in skladiščenje pred odlaganjem;
- 2- upravljanje, nadzor in vzdrževanje CSRAO ter zagotavljanje zadostnih skladiščnih zmogljivosti;
- 3- priprave na izgradnjo odlagališča NSRAO ter načrtovanje dolgoročnih rešitev za RAO in IG;
- 4- dolgoročni nadzor in vzdrževanje zaprtega odlagališča rudarske jalovine Rudnika urana Žirovski vrh Jazbec – v preteklosti je izvedel tudi sanacijo Zavrataca;

- 5- razvijanje strokovnega znanja za podporo državi pri pripravi strateških in planskih dokumentov na področju ravnanja z RAO in IG;
- 6- obveščanje, ozaveščanje in izobraževanje javnosti (ARAO, 2018c).

Organa upravljanja ARAO sta upravni odbor in direktor.¹² Upravni odbor sestavlja pet članov, od katerih tri člane imenuje ustanovitelj, tj. Vlada RS, enega NEK, enega pa izvolijo delavci ARAO. Organiziranost Agencije prikazuje Slika 6.1.



Slika 6.1: Organiziranost Agencije za RAO (vir: ARAO, 2018d).

¹² Z 29. 3. 2018 je Vlada RS soglašala z imenovanjem mag. Sandija Virška za direktorja ARAO za mandatno obdobje štirih let.

Temeljna predpostavka uresničevanja trajnostnega razvoja, h kateremu odločno stremi ARAO, je, da bremen, za katera je mogoče in potrebno poskrbeti danes, ne prelagamo na prihodnje rodove, še posebej, če so bremena posledica koristi današnje generacije in če ima ta generacija strokovno znanje ter tehnologije, potrebne za izvedbo ustreznih rešitev. Za uresničevanje trajnostnega razvoja zato ARAO sledi trem stebrom trajnostnega razvoja: družbeni odgovornosti in pravičnosti, varovanju okolja in naravnih virov ter gospodarskemu razvoju. Vsi stebri so vsebinsko ustrezno prilagojeni njihovi dejavnosti in ureditvi ravnanj z RAO v Sloveniji. *Sledi razlaga.*

- Prvi steber – ***strokovno in odgovorno delovanje zaposlenih*** pomeni visoko stopnjo strokovne izobraženosti in usposobljenosti zaposlenih, ažurno spremljanje razvoja znanja na področju ravnanja z RAO in IG ter nenehen prenos izkušenj in dobrih praks s sorodnimi organizacijami. Mednarodne organizacije, v katere je vključena ARAO, prikazuje Tabela 6.1, medtem ko so pomembne domače strokovne organizacije:
 - Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije,
 - Institut »Jožef Stefan«,
 - Univerza v Ljubljani,
 - Združenje Slovenski jedrski forum.

Tabela 6.1: Mednarodne organizacije, programi in projekti, v katerih sodeluje ARAO (vir: ARAO, 2018e).

<i>Organizacija, program ali projekt (po abecednem redu)</i>	<i>Kratek opis organizacije, programa ali projekta oziroma njegovega poslanstva</i>
ANDRA	Francoska nacionalna agencija za ravnanje z RAO
ARIUS (Association for Regional and International Underground Storage)	Regionalno in mednarodno sodelovanje pri načrtovanju podzemnega skladiščenja dolgoživih radioaktivnih odpadkov
BIOPROTA	Strokovni forum za obravnavo negotovosti v oceni radioloških vplivov izpustov dolgoživih radionuklidov v biosfero

ERDO – WG (European Repository Development Organization Working Group)	Evropska delovna skupina za sodelovanje pri načrtovanju razvoja odlagališč RAO
EURATOM	Skupnost evropskih držav, ki deluje na jedrskem področju, zlasti na področju raziskav, infrastrukture in financiranja
Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA)	Specializirana agencija v okviru OZN, ki si prizadeva za širjenje miroljubne uporabe jedrske energije in omejevanje uporabe jedrskega orožja
IGD – TP (Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste - Technology Platform)	Evropska tehnološka platforma, ki povezuje deležnike na področju geološkega odlaganja visokoradioaktivnih in dolgoživih radioaktivnih odpadkov in usmerja raziskave ter razvoj na tem področju
Club of Agencies	Neformalno združenje evropskih agencij za ravnanje z RAO
Radwaste Management Committee OECD/NEA	Odbor za ravnanje z radioaktivnimi odpadki pri Organizaciji za gospodarsko sodelovanje in razvoj/Agencija za jedrsko energijo
Regional Seminar on Radioactive Waste Disposal	Redna letna srečanja organizacij s področja ravnanja z RAO iz držav Srednje Evrope

- Drugi steber – **skrb za zdravje in okolje**; trud za zdravje zaposlenih in varno delovno okolje, doseganje minimalnih okoljskih vplivov dejavnosti agencije ter okoljske odgovornosti na vseh področjih in v vseh fazah delovanja in zagotavljanje jedrske varnosti.
- Tretji steber – **racionalno in učinkovito poslovanje**; transparentno in učinkovito načrtovanje in opravljanje dejavnosti, skladno z razpoložljivimi finančnimi viri, ter ekonomsko racionalno in odgovorno poslovanje na vseh področjih delovanja. Program dela in finančni načrt ARAO vsako leto obravnava in potrdi Vlada RS, kamor se tudi poroča o rezultatih in porabljenih sredstvih ARAO v preteklem letu. Vsako leto so

revizijsko pregledani računovodski izkazi ter namenskost in gospodarnost porabe javnih sredstev. ARAO sredstva za svoje delovanje prejema iz naslednjih virov:

- iz Sklada NEK,
- iz državnega proračuna,
- od uporabnikov storitev obvezne državne gospodarske javne službe ravnanja z RAO malih povzročiteljev,
- iz drugih virov – predvsem sredstva EU iz naslova pridobljenih projektov (ARAO, 2016a).

7 NAČRTOVANJE ODLAGALIŠČA NSRAO V SLOVENIJI

Izbor lokacije za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov je Sloveniji figuriral zelo zahteven in obsežen projekt, ki se ga je morala država lotiti z ustreznim pristopom in zagotoviti pogoje, ki so bili v javnosti sprejeti pozitivno. Žal se ga je sprva lotila malce napačno, saj javnost ni bila najboljše seznanjena s projektom. Formalno se je začel 5. julija 2004, uspešno zaključen pa je bil 30. decembra 2009, ko je Vlada RS sprejela »Uredbo o državnem prostorskem načrtu za odlagališče NSRAO na lokaciji Vrbina v občini Krško« (2009). S sprejetjem načrta je bil potrjen tudi tip odlagališča. Lokacija je na prodni obsavski ravnici Krškega polja, vzhodno od jedrske elektrarne Krško. Ograjeno območje odlagališča bo zavzelo 10 hektarjev površine (ARAO, 2016).

Po potrditvi Državnega prostorskega načrta za odlagališče NSRAO na lokaciji Vrbina Krško so začele potekati glavne raziskave geo- in hidrosfere, z namenom pridobiti dodatne podatke o lokaciji; o lastnostih zemljin in kamnin, ki se nahajajo neposredno na območju odlagalnih objektov odlagališča. S tem so bili pridobljeni pomembni podatki za projektiranje in izdelavo varnostnih analiz odlagališča NSRAO, ki so potrdili izvedljivost varne izgradnje (ARAO, 2018f).

7.1 Predstavitev in gradnja idejnega projekta

Izbrani tip odlagališča predvideva odlaganje RAO v pripovršinske silose. Lokacija in zasnova odlagališča omogočata razširitev z dodatnimi silosi. Silos je v osnovi zasnovan kot armiranobetonska cilindrična konstrukcija, okvirnega premera 30 m, globine 55 m ter koristne globine 33 m. Varnost podzemnega silosa bodo zagotavljali še geološko okolje in inženirske pregrade. Celoten silos bo v plasti melja, ki je pod plastjo proda s podtalnico. Melj je nasičen z vodo, a hkrati za vodo izjemno slabo prepusten material, zato podtalna voda iz plasti proda vanj ne pronica, zato je primerna naravna pregrada, ki izolira odlagališče in preprečuje prehajanje radionuklidov iz odlagališča (ARAO, 2016). RAO, primerni za odlaganje, bodo vloženi v kovinske sode, sodi v betonske zabojnike, zabojniki

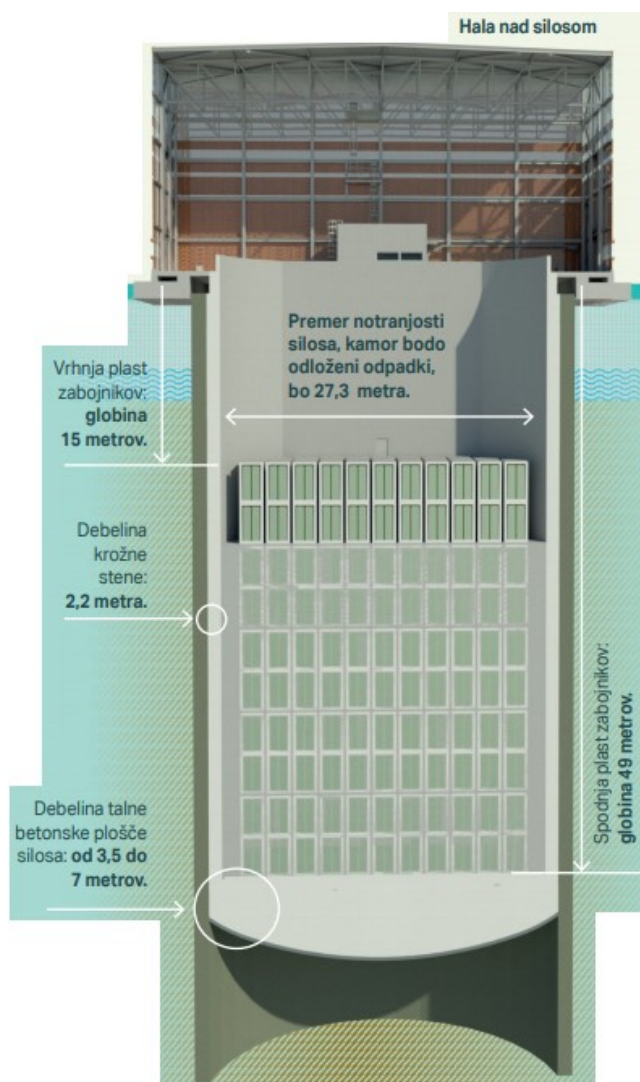
pa v silose. Nad silosom, ki se bo polnil s površine, bo med obratovanjem odlagališča hala. Po zaprtju bodo vsi nadzemni objekti odstranjeni. Kompleks odlagališče NSRAO bo obsegal: upravno-servisni in tehnološki objekt, silos, halo, cestno in komunalno infrastrukturo; urejene bodo tudi zunanje površine (prikaz na Slika 7.1). Na odlagališču bodo zagotovljeni vsi objekti, sistemi in naprave, ki so potrebni za delovanje odlagališča kot samostojnega jedrskega objekta (ARAO, 2018g).



Slika 7.1: Kompleks odlagališča NSRAO obsega: 1. upravno-servisni objekt; 2. tehnološki objekt; 2.1 vstop v nadzorovano območje; 2.2 tehnološki objekt; 3. odlagalni objekt z odlagalnim silosom in halo nad silosom (vir: ARAO, 2018g)

Investicijski program, ki je bil potrjen julija 2014, predvideva dva scenarija, in sicer osnovni scenarij, ki predvideva odlaganje polovice RAO, in razširjen scenarij, ki v skladu z meddržavno pogodbo BRHNEK predvideva odlaganje vseh NSRAO odpadkov iz NEK. Poleg naštetega se v odlagališče odložijo še NSRAO iz CSRAO v Brinju, NSRAO iz razgradnje CSRAO ter reaktorja TRIGA Mark II in NSRAO, ki bodo nastali pri delovanju in zapiranju odlagališča. V silos, ki je prikazan na Slika 7.2, bodo odloženi samo NSRAO v trdnem stanju, ki niso

eksplozivni in vnetljivi, so kemično stabilni, slabo topni v vodi in vsebujejo le izredno majhen delež organskih snovi. Ob neizpolnjevanju meril bodo ustrezno prehodno predelani. Skupna predvidena količina NSRAO, ki jo bo treba odložiti po osnovnem scenariju, z upoštevanjem polovice NSRAO iz NEK, znaša 3.113 m³. Pri tem je upoštevan slovenski del (50 %) odpadkov iz NEK 2.513 m³ ali 80,72 % in 600 m³ ali 19,28 % drugih RAO. Po razširjenem scenariju znaša celotna količina za odlaganje 5.625 m³ NSRAO. Od tega je 5.025 m³ prostornina odpadkov iz obratovanja NEK in njene razgradnje. Prostornina neelektrarniških odpadkov iz Slovenije predstavlja že omenjenih 600 m³ (»ReNPRRO16-25«, 2016).



Slika 7.2: Prikaz silosa in hale nad njim (vir: ARAO, 2016)

Investicijski program odlagališča predpostavlja, da gradnjo odlagališča NSRAO financira vsak od povzročiteljev odpadkov sorazmerno s količino odloženih odpadkov. Po osnovnem scenariju jo financirata Sklad za razgradnjo NEK (80,72 %) in državni proračun RS (19,28 %). V investicijsko vrednost so vključena tudi že vložena sredstva iz preteklih let. Stroški priprave na odlaganje, vključno s prevozom do odlagališča, v celoti bremenijo povzročitelja (»ReNPRRO16-25«, 2016). Predvideni investicijski stroški znašajo 157,5 mio (po osnovnem scenariju), stroški obratovanja letno pa približno 8 mio €.

7.2 Terminski načrt odlagališča

Oglejmo si oba možna scenarija gradnje. Po osnovnem scenariju, po katerem bo v odlagališče odložena le polovica NSRAO iz NEK (in tudi vsi slovenski NSRAO), naj bi gradnja že potekala v naslednjem letu, po izgradnji pa bi odlagališče začelo poskusno obratovati. Pet let od obratovanja bi odlagališče prešlo v fazo mirovanja oziroma začasnega zaprtja in do ponovnega obratovanja nekje v letu 2050, do začetka razgradnje NEK. Po odložitvi vseh odpadkov, ki bodo nastajali v elektrarni in ob razgradnji elektrarne, se bosta silos in celotno odlagališče zaprla. Z letom 2061 se torej začneta izvajati dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča. Razširjen scenarij upošteva dogovor z Republiko Hrvaško o odlaganju vseh NSRAO iz NEK. Začetni del tega scenarija je enak, predvideva pa, da bo polnjenje silosa trajalo tri leta dlje. Ko bo zapolnjen, bo sledilo zaprtje. Drugi silos bo zgrajen do leta 2050 in bo sprejel preostale RAO po razgradnji NEK do leta 2061 (»ReNPRRO16-25«, 2016).

Ker je predlog novega Investicijskega programa v fazi potrjevanja in ker ARAO na potek postopkov, ki jih izvajajo druge institucije, ne more vplivati, v ARAO težko podajajo terminski načrt odlagališča z letnicami. Navedejo lahko le časovni okvir poteka projekta oziroma trajanje faz, ki se bodo začele takrat, ko bodo pridobljena ustrezna dovoljenja, kot npr. v bližnji prihodnosti okoljevarstveno soglasje in gradbeno dovoljenje.

V ARAO so podali okvirni terminski načrt, ki predpostavlja (S. Viršek, intervju, 23. 5. 2018):

- pridobitev okoljevarstvenega soglasja – vloga vložena na ARSO leta 2017;
- pridobitev gradbenega dovoljenja za odlagališče;
- začetek gradnje – trajanje približno tri leta;
- začetek poskusnega obratovanja odlagališča – trajanje približno dve leti;
- redno obratovanje I – trajanje približno tri leta;
- fazo mirovanja odlagališča – do začetka razgradnje NEK, predvidoma do leta 2049;
- redno obratovanje II – trajanje približno 10 let;
- razgradnjo in zapiranje odlagališča – trajanje približno dve leti.

8 NA KRATKO O RAVNANJU Z RAO V DRUGIH DRŽAVAH

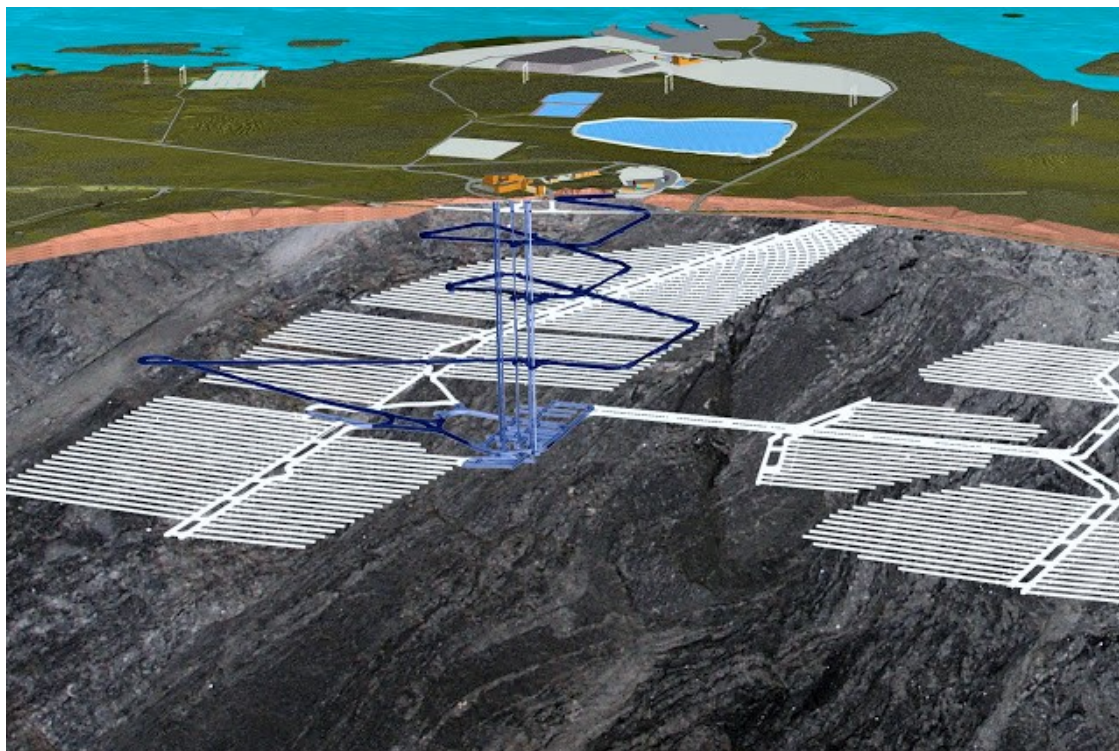
Kadar govorimo o napredku držav na področju RAO, nas zanima predvsem, katere države že imajo odlagališča za RAO. Veliko evropskih držav je že zgradilo odlagališča NSRAO za svoje odpadke. Poleg Slovenije ga od držav z jedrskim programom nimajo še v Belgiji, Nemčiji, Litvi, Bolgariji, Romuniji in na Nizozemskem ter v nekaterih manjših državah z raziskovalnimi reaktorji oziroma institucijami, kot so denimo Avstrija, Danska in Estonija. Obratujoče odlagališče NSRAO ima deset držav, v petih državah pa so odlagališča v razvitih fazah načrtovanja in bodo obratovala predvidoma do začetka novega desetletja (odlagališča po državah v Evropi prikazuje Tabela 8.1). V posameznih državah je tudi po več različnih odlagališč za različne tipe odpadkov (ARAO, 2017f).

Tabela 8.1: Odlagališča NSRAO v Evropi in njihov status (vir: ARAO, 2017f).

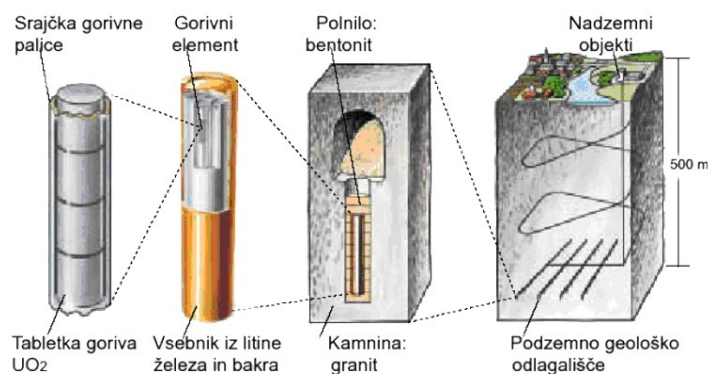
<i>Država</i>	<i>Tip</i>	<i>Kapaciteta [m³]</i>	<i>Začetek</i>	<i>Status</i>
Belgija	Površinsko	70.500	2016	PGD (podana vloga za gradbeno dovoljenje)
Bolgarija	Pripovršinsko	138.000	2015	V fazi gradnje
Češka	Površinsko	55.000	1994	Obratuje
Finska	Silos	10.000	1992, 1997	Obratuje, dve odlagališči
Francija	Površinsko	1 mio, 527.000, 650.000	1992, 1979, 2003	Obratuje, tri odlagališča
Nemčija	Podzemno	303.000, 60.000	2013, 2040	Izgradnja, raziskave
Madžarska	Podzemno, površinsko	5.040, 25.000	1976, 2012	Obratuje
Italija	Površinsko	210.000	2020	Načrtovanje
Litva	Površinsko, pripovršinsko	60.000, 100.000	2013, 2017	PGD, dve odlagališči
Poljska	Površinsko		1961	Obratuje, inst. odpadki
Romunija	Površinsko	122.000	2014	PGD v reviziji
Slovaška	Površinsko	22.300, 68.000, 10.800	2001, 2016	Obratuje, načrtovani še dve,

				za ZNRAO in NSRAO
Slovenija	Silos	6.000	2022	Poskusno obratovanje 2020
Španija	Površinsko	120.000	1992	Obratuje
Švedska	Silos	60.000	1988	Obratuje, predvidena razširitev na dodatnih 200.000 m ³
Velika Britanija	Površinsko	1.400.000	1959	Obratuje, predvidena razširitev

Kot najnaprednejšo državo na področju ravnanja z RAO je vredno omeniti Finsko, ki kot prva država na svetu že gradi odlagališče za visokoradioaktivne odpadke in izrabljeno gorivo (maketo odlagališča prikazuje Slika 8.1). Postavili ga bodo na otoku Olkiluoto ob njihovi zahodni obali, od 400 do 450 metrov pod zemljo, sestavljalo pa naj bi ga kar 70 kilometrov predorov (odlagalni rovi, transportni rovi in transportni jašek). Predore bodo napolnili z litoželeznimi in z bakrom ovitimi posodami, v katerih bo izrabljeno jedrsko gorivo (podroben oris prikazuje Slika 8.2). Predvidena kapaciteta globinskega odlagališča, kjer bodo odpadki ločeni od življenjskega okolja za najmanj 10.000 let, je 4000 ton izrabljenega jedrskega goriva. Na izbrani lokaciji že delujeta dva jedrska reaktorja, tretjega gradijo. Finska je tako postala zgled številnim državam, saj ima več kot odlično in učinkovito razvito komunikacijo s prebivalci. Po uspešnosti – glede priprav na postavitve trajnih odlagališč za visoko radioaktivne odpadke – Finski sledi Švedska in nato Francija (Hočevar, 2018).



Slika 8.1: Takšno bo videti odlagališče za izrabljeno jedrsko gorivo v kraju Olkiluoto na Finskem
(vir: Alchetron, 2018)



Slika 8.2: Sistem umetnih in naravnih pregrad geološkega odlagališča za izrabljeno gorivo; sistem KBS-3 – je najbolj znan koncept geološkega odlagališča. Razvila ga je švedska agencija za ravnanje z RAO SKB. Model odlagališča v trdni kamnini KBS-3 je prevzela tudi Finska (vir: ARAO, 2018i).

9 ZAKLJUČEK

9.1 Verifikacija hipotez

Diplomsko delo se je koncipiralo okrog štirih zastavljenih hipotez, na katere bomo v zaključku podali kakovostno argumentacijo.

Hipoteza 1: Nastanek radioaktivnih odpadkov je nemogoče preprečiti.

Pomembno je poudariti, da je nastanek radioaktivnih odpadkov le stranski produkt pri različnih nepogrešljivih prispevkih v današnji družbi. Če bi želeli povsem preprečiti nastanek RAO, bi se morali v celoti odpovedati jedrski energiji in uporabi radioaktivnih virov, kar pa ni v javnem interesu. V obstoječih okoliščinah bi za današnjo družbo preprečitev nastanka RAO predstavljala »misijo nemogoče«. Težko si predstavljamo, da bi morali poiskati drug vir za več kot tretjino slovenske električne energije, da se ne bi mogli več zdraviti z učinkovitimi metodami v medicini ali pa v znanosti ne bi več napredovali, saj bi morali opustiti raziskave ipd. Zastavljeno hipotezo lahko torej le delno potrdimo; ni nemogoče preprečiti RAO (teoretično), a je danes skorajda (če ne celo zagotovo) nemogoče živeti brez ugodnosti, ki nam jih prinašajo.

Hipoteza 2: Zaradi razvoja tehnologije predelave in sistema odlaganja radioaktivnih odpadkov so odlagališča tovrstnih odpadkov povsem neškodljiva za ljudi in okolje.

Prva funkcija odlagališča je zagotavljanje varnosti, zato je pomembno poudariti tehnično in tehnološko vprašanje. Odlaganje NSRAO danes velja za tehnično-tehnološko povsem rešen problem (obvladana so tudi vprašanja glede odlaganja VRAO), kar pa ne pomeni, da ne gre za izredno kompleksne strukture in zahtevne gradnje, ki zahtevajo sistematično in inventivno načrtovanje ter natančno in kakovostno gradnjo. Novodobne rešitve so pri odlaganju RAO prilagojene njihovi naravi in trajnosti rešitve, kar pomeni, da ustrezne tehnične rešitve in naravne geološke zapore (večinoma podzemne) onemogočajo sevanje in pronicanje radioaktivnih snovi v biosfero za nekaj sto tisoč let (Veselič, n. d.). Odlagališče je v končnem zaprtem stanju kompaktna podzemna betonska struktura. Gre za popolnoma

pasivno napravo, kjer so predelani in odloženi RAO z več plastmi različnih materialov ločeni od okolja (načelo večkratnosti umetnih pregrad z dopolnitvijo geološke pregrade). V končni obliki je odlagališče tako varnostno suvereno, da ga ne bi lediral niti močan potres (Stritar in Istenič, 1997).

Našteta dejstva so produkt današnjega znanja, ki se je sistematično razvijalo skozi raziskovanje in razumevanje celotnega odlagalnega sistema. Problem je namreč evidentno interdisciplinaren in uspešno so ga reševali različni strokovnjaki ter že razvijali različne tehnologije predelave za pričakovano varno odlaganje (Mele, 2004). Iz povedanega sledi, da so odlagališča tovrstnih odpadkov povsem neškodljiva za ljudi in okolje. Upravičeno lahko potrdimo drugo zastavljeno hipotezo.

Hipoteza 3: Radioaktivne snovi iz odlagališča tudi v primeru naravne nesreče ne bi prodrle v okolje.

Tretjo zastavljeno hipotezo lahko razumemo kot nadgradnjo prejšnje (H2), ki se prav tako navezuje na varnostno oceno odlagališča. Zasnova odlagališča mora slediti mednarodnim priporočilom in standardom ter zakonodaji, hkrati pa upoštevati specifičnosti posamezne lokacije. Okoljska in prostorska primernost (poleg vseh drugih omenjenih meril zasnove varnostne ocene odlagališča) tudi zagotavljata kratkoročno in dolgoročno varnost, zato je prostorsko umeščanje odlagališča zelo kompleksen proces in zahteva najrazličnejša terenska raziskovalna dela s poznavanjem vseh naravnih lastnosti (Veselič, n. d.). Še več, predvideti je treba vse možne naravne nesreče (najtežje in najhujše dogodke), za katere na izbrani lokaciji odlagališča obstaja že najmanjša verjetnost (Mele, 2004). Tudi če bi prišlo do najhujše naravne nesreče, ne bi prišlo do radiološke nesreče, da bi sevalni vpliv presegal zakonsko določeno omejitev. Teoretično bi lahko radioaktivne snovi prodrle v okolico le s pomočjo vode, a jim tudi to preprečujejo vodoneprepustne pregrade (Istenič in Stritar, 1997). Opisano je podlaga za potrditev tretje zastavljene hipoteze.

Hipoteza 4: *Republika Hrvaška bi s prevzemom deleža RAO iz Nuklearne elektrarne Krško (NEK) ravnala odgovorno in Sloveniji omogočila lažje reševanje problematike in projektiranja odlagališča za NSRAO.*

Republika Hrvaška (kot tudi Republika Slovenija) je dolžna prevzeti svoj delež RAO in IG iz NEK ter zagotoviti varne rešitve ravnanja z njimi, saj jo k temu zavezuje že meddržavna pogodba (»BHRNEK«, 2003). Pogodbenici soglašata s skupno obveznostjo zagotavljanja skupne rešitve za razgradnjo in odlaganje RAO in IG z gospodarskega stališča in stališča varovanja okolja (»ReNPRRO16-25«, 2016). V zadnjih letih se je pri izvajanju idejnega projekta skupnega odlagališča NSRAO malce zataknilo. Na zadnjem zasedanju meddržavne komisije (januarja 2019) sta se pogodbenici vendarle dogovorili o nadaljevanju iskanja rešitev, da bi se lahko izvedel omenjeni projekt. Odgovor na vprašanje, ali lahko pride do dogovora med državama, naj bi bil znan septembra (Janjič, 2019). Če bi Hrvaška prevzela svoj delež odpadkov, bi v prihodnosti to pomenilo izgradnjo kar dveh odlagališč. Vsekakor bi skupna rešitev odlaganja RAO prinesla varnostne, ekonomske, družbene in gospodarske prednosti za obe državi. Vzajemnost držav bi bila ključna pri reševanju peroče problematike in projektiranju odlagališča. S tem lahko zavržemo zadnjo zastavljeno hipotezo. Pri determinaciji te je bil poleg pregledane zakonodaje ključen pogovor z vodjo službe za odnose z javnostmi ARAO, I. Daris (intervju, 23. 5. 2018).

9.2 Razprava in sklepne misli

Najbolj aktualna postavka v nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki v Sloveniji je torej načrtovanje in izgradnja odlagališča NSRAO, ki predstavlja najvišjo raven v procesu ravnanja z NSRAO, saj gre za trajno in varno rešitev. Projekt je natančno načrtovan, lokacija pa dobro raziskana. Po mnenju Stritarja (2015) smo Slovenci glede strokovnosti umeščanja odlagališča v prostor v dobrem mednarodnem povprečju. Običajno je pri jedrskih projektih vprašljiva družbena sprejemljivost, saj gre prvenstveno za socio-psihološki problem. Sprva je država glede izbora lokacije oziroma umeščanja odlagališča v prostor napačno pristopila do javnosti, saj so bili podatki o potencialnih lokacijah objavljeni, še preden je bila lokalna javnost seznanjena s tem. Strah pred radioaktivnostjo je povsem

primaren in logičen, saj ljudje nimamo čuta za zaznavanje tega pojava (Veselič, n. d.). V nadaljevanju načrtovanja se je ARAO stvari lotil drugače. Z volonterskim načinom, ki predvideva prostovoljno sodelovanje, je povabil lokalne skupnosti, z objavo javnega razpisa, da se same javijo in ponudijo lokacijo. ARAO je pred pridobitvijo lokacije za odlagališče tudi veliko in sistematično komuniciral z nacionalno in lokalno javnostjo na potencialnih lokacijah (Mele, 2002). Na splošno se ugotavlja, da lahko le pravočasno informiranje in vključevanje javnosti omili ali celo prepreči učinek NIMBY in podkrepi zaupanje v delo strokovnjakov (Špes, 2008). Soglasje občine Krško za gradnjo odlagališča je bilo tako podano decembra 2009.

Slovenija se zaveda, da skladiščenje RAO ne more zagotoviti trajne rešitve. Odlagališče je bistveno bolj varno, skladiščenje RAO pa je tudi bistveno dražje. Po odprtju in obratovanju odlagališča NSRAO sedanje Centralno skladišče za RAO ne bo odstranjeno. Vse dokler ti odpadki nastajajo, obstaja potreba po njihovem varnem skladiščenju. Že ko bodo vsi odpadki iz CSRAO (in tudi odpadki iz NEK) odloženi v odlagališče, je smotrno nadaljnje centralno zbiranje RAO v skladišču z vidika stroškov obratovanja. Ne bi bilo smiselno, da bi le nekaj odpadkov vsakič znova odpeljali v odlagališče (I. Daris, intervju, 23. 5. 2018). Navedena dejstva predvideva že Resolucija. Varnostni pristopi predvidevajo tudi morebitne izredne dogodke, na katere moramo biti ustrezno taktično pripravljene, objekt, kot je CSRAO, pa nam daje varstvo že z obstoječo infrastrukturo, potrebnimi dovoljenji in znanjem.

Pri podajanju lastnega mnenja o tem, na kakšni poti smo glede ravnanja z radioaktivnimi odpadki, bi sicer poudarili dobro razvito strategijo, kar prikazujejo tudi rezultati. Se pa stvari razvijajo zelo počasi, predvsem v trajnostnih rešitvah. Čeprav ima Slovenija sorazmerno malo radioaktivnih odpadkov in trend nastajanja RAO upada, moramo poudariti, da smo ena redkih držav, ki imamo jedrsko elektrarno, nimamo pa odlagališča. Popolno nasprotje Sloveniji je denimo Norveška, ki nima jedrske elektrarne, ima pa odlagališče za NSRAO, kamor odlaga odpadke iz medicine, raziskovalne dejavnosti in industrije. V velikem pričakovanju bomo še naprej spremljali razplet, ki sledi med Hrvaško in Slovenijo.

Meddržavna pogodba poziva obe lastnici NEK k iskanju skupne rešitve v boju z RAO. Skupno odlagališče bi predstavljalo razumno odločitev in dober dialog.

Diplomsko delo bi lahko nadgradili s podrobnejšim raziskovanjem spoprijemanja z izzivom, ki v prihodnosti čaka celoten svet. Govorimo o odlaganju visoko radioaktivnih odpadkov, kjer bosta potrebna sodelovanje med državami in iskanje skupnih rešitev. Predstavili in primerjali bi lahko tudi druga obstoječa sodobna odlagališča NSRAO (npr. Centre de l'Aube v Franciji ali Forsmark na Švedskem) ter iskali prednosti in dobro prakso za morebitno izboljšanje načrtovanja našega odlagališča.

Jedrski energiji se ne bomo mogli tako kmalu odpovedati, zato je najbolje, da sprejmemo tako njene dobre kot tudi slabe lastnosti. Če pomislimo, koliko škode povzročamo okolju (ter posledično našemu zdravju) s tonami preostalih odpadkov (kot so plastika in fosilna goriva), potem je strah pred jedrsko energijo resnično neracionalen. Še celo doze ionizirajočega sevanja, ki jih prejmejo zaposleni z viri ionizirajočega sevanja, so v večini primerov tako majhne, da jih ni mogoče izmeriti z instrumenti, lahko podamo le njihovo izračunano vrednost (ARAO, 2016a). Kot zanimivost naj navedemo še presenetljivo dejstvo, da je v poklicu pilota in stevardese prejeta večja doza sevanja (posledica kozmičnih žarkov), kot jo prejema zaposleni v stiku z radioaktivnimi odpadki.

VIRI IN LITERATURA

- Alchetron. (2018). *Onkalo spent nuclear fuel repository*. Pridobljeno na <https://alchetron.com/Onkalo-spent-nuclear-fuel-repository#->
- ARAO. (2016). *Odlagališče nizko- in srednjeradioaktivnih (NSRAO) odpadkov v Sloveniji: zakaj, kako, kje in kdaj?*. Ljubljana: ARAO. Pridobljeno na [http://www.arao.si/uploads/datoteke/ARAO_NSRAOzgibanka_WEB\(1\).pdf](http://www.arao.si/uploads/datoteke/ARAO_NSRAOzgibanka_WEB(1).pdf)
- ARAO. (2016a). *We provide a professional and responsible public service of managing radioactive waste*. Ljubljana: ARAO.
- ARAO. (2016b). *Projektne osnove za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško – faza presoje vplivov na okolje*. Ljubljana: ARAO. Pridobljeno na <http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/039646-NSRAO2-POR-013-01%20Projektne%20osnove%20OsnVP%202016.pdf>
- ARAO. (2017a). *Radioaktivnost*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/radioaktivni-odpadki/radioaktivnost>
- ARAO. (2017b). *O RAO*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/radioaktivni-odpadki/o-rao>
- ARAO. (2017c). *Ravnanje z RAO v Sloveniji*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/radioaktivni-odpadki/ravnanje-z-rao-v-sloveniji>
- ARAO. (2017d). *Ravnanje z RAO malih povzročiteljev*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/ravnanje-z-rao-malih-povzrociteljev>
- ARAO. (2017e). *Načrtovanje ravnanja z IG in VRAO*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/nacrtovanje-ravnanja-z-ig-in-vrao>
- ARAO. (2017f). *Ravnanje z RAO v drugih državah*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/radioaktivni-odpadki/ravnanje-z-rao-v-drugih-drzavah>
- ARAO. (2018a). *Upravljanje skladišča*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/ravnanje-z-rao-malih-povzrociteljev/upravljanje-skladisca>
- ARAO. (2018b). *Vplivi skladišča na okolje*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/ravnanje-z-rao-malih-povzrociteljev/vplivi-skladisca-na-okolje>
- ARAO. (2018c). *Poslanstvo*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/agencija-arao/poslanstvo>
- ARAO. (2018d). *Organiziranost*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/arao/organiziranost>

- ARAO. (2018e). *Sorodne organizacije*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/arao/trajnostni-razvoj/sorodne-organizacije>
- ARAO. (2018f). *Terenske raziskave*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/nacrtovanje-odlagalisca-nsrao/terenske-raziskave>
- ARAO. (2018g). *Projektna dokumentacija*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/nase-dejavnosti/nacrtovanje-odlagalisca-nsrao/projektna-dokumentacija>
- ARAO. (2018h). *Skrb za zdravje in okolje*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/arao/trajnostni-razvoj/skrb-za-zdravje-in-okolje>
- ARAO. (2018i). *Ravnanje z izrabljenim gorivom (IG)*. Pridobljeno na <http://www.arao.si/dolgorocno-ravnanje-z-rao-in-ijg/ravnanje-z-izrabljenim-gorivom-ig>
- ARAO in IJS. (2011). *Radioaktivni odpadki*. Ljubljana: ARAO. Pridobljeno na http://www.arao.si/uploads/datoteke/4_radioaktivni_odpadki_2011.pdf
- Bunyard, P. (1988). *Health guide for the nuclear age*. London: Papermac.
- Dimic, R., Istenič, R. in Stritar, A. (1997). *Radioaktivni odpadki: z znanjem proti strahu*. Ljubljana: Agencija za radioaktivne odpadke Republike Slovenije.
- Direktiva Sveta 2011/70/Euratom. (2011). *OJ L 199*, 2. 8. 2011, str. 48–56.
- European Commission, International Atomic Energy Agency and OECD/Nuclear Energy Agency [EC, IAEA in OECD/NEA]. (1999). *A Proposed International Standard List of Decommissioning Cost Items, Interim Technical Document*. Pridobljeno na <https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1999/costlist.pdf>
- Fran: Slovarji Inštituta za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU*. (2016). Ljubljana: Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU. Pridobljeno na <https://fran.si/>
- Hočevar, B. (14. 2. 2018). Odlagališča visoko radioaktivnih odpadkov: kje bodo prva in kdaj bo pripravljeno naše. *Times.si*. Pridobljeno na <http://www.times.si/gospodarstvo/odlagalisca-visoko-radioaktivnih-odpadkov-kje-bodo-prva-in-kdaj-bo-pripravljeno-nase--61ffc22f75496c0065bd91457fe249618cc2858e.html>
- Istenič, R. in Stritar, A. (1997). *Najpogostejša vprašanja in odgovori o radioaktivnih odpadkih*. Ljubljana: Agencija za radioaktivne odpadke Republike Slovenije.

- Istenič, R. in Stritar, A. (1998). *Radioaktivni odpadki: vodnik za novinarje*. Ljubljana: Agencija za radioaktivne odpadke Republike Slovenije.
- Istenič, R., Mele I. in Stritar, A. (1996). *Načela ravnanja z radioaktivnimi odpadki* [Prevod]. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije.
- Janjič, B. (1. 3. 2019). Gradnja skupnega odlagališča NSRAO še ni povsem padla v vodo. *Nastik.si*. Pridobljeno na <http://www.nastik.si/1/Novice/novice/tabid/87/ID/6425/Gradnja-skupnega-odlagalisca-NSRAO-se-ni-povsem-padla-v-vodo.aspx>
- Jenčič, I., Mele, I. in Stritar, A. (1996). *Vzpostavitev nacionalnega sistema za ravnanje z radioaktivnimi odpadki* [Prevod]. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije.
- Kegel, L. (2010). Sevanje in radioaktivnost. *Posavski obzornik*, 14(25), 9.
- Kralj, M. (2009). »Oh, odpadek! Pa še radioaktiven!«. *Raopis*, 17, 3–5.
- Kralj, M. (2009). »Skladišče radioaktivnih odpadkov na Brinju in okolje«. *Raopis*, 17, 21–23.
- Kralj, M. (2011). Biološki učinki ionizirajočega sevanja. *Posavski obzornik*, 15(7), 9. Pridobljeno na http://www.arao.si/uploads/datoteke/ARAO%200711_PO_Metka.pdf
- Kralj, M. in Železnik, N. (2011). Zakonodaja na področju ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom. *Posavski obzornik*, 15(20), 9. Pridobljeno na http://www.arao.si/uploads/datoteke/PO_st20_29_9_2011.pdf
- Letcher M., T. (ur). (2014). *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*. London: Elsevier. Pridobljeno na <https://books.google.si/books?id=GQtuAAAAQBAJ&pg=PA181&lpg=PA181&dq=Matthew+Gill,+Aiden+Peakman,+in+Future+Energy++2014&source=bl&ots=C0nUYDP7Um&sig=ACfU3U1hsNhjNLgSA1Rwg9-ae1IEqINXGg&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjmr9GJ9ZLhAhUKkMMKHZOGDWEQ6AEwBnoECAgQAQ#v=onepage&q=Matthew%20Gill%2C%20Aiden%20Peakman%2C%20in%20Future%20Energy%20%202014&f=false>
- Mele, I. (2002). O postopku izbora lokacije za odlagališče NSRAO. *Raopis*, 12, 3–5.
- Mele, I. (2004). Uvodnik. *Raopis*, 13, 1.

- Mele, I. (2006). Radioaktivnega sevanja ni – je le sevanje radioaktivnih snovi. *Raopis*, 14, 9–12.
- Mele, I. (2006). Sevanje iz naravnih virov ali naravno ozadje. *Raopis*, 14, 16–18.
- Mitar, M. (2011). *Uvod v metodologijo znanstvenega raziskovanja varnostnih pojavov: (splošni del)*. Ljubljana: Fakulteta za varnostne vede.
- NEK. (2017a). *Proizvodnja*. Pridobljeno na http://www.nek.si/sl/o_nek/proizvodnja/
- NEK. (2017b). *Tekočinski izpusti*. Pridobljeno na http://www.nek.si/sl/okolje/vplivi_nek_na_okolje/tekocinski_izpusti/
- NEK. (2017c). *Radioaktivni odpadki in izrabljeno gorivo*. Pridobljeno na http://www.nek.si/sl/okolje/vplivi_nek_na_okolje/radioaktivni_odpadki_in_izrabljeno_gorivo/
- Pogodba o ustanovitvi Evropske skupnosti za atomsko energijo (EUROATOM). (1957, 2016). *UL C 203*, 7. 6. 2016, str. 1–112.
- Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom. (2006, 2017). *Uradni list RS*, (49/06, 76/17).
- Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2016–2025 (ReNPRRO16-25). (2016). *Uradni list RS*, (31/16).
- Resolucija o jedrski in sevalni varnosti v Republiki Sloveniji za obdobje 2013–2023 (ReJSV13-23). (2013). *Uradni list RS*, (56/13).
- RTV SLO in ARAO (19. 11. 2015). *Kam z Radioaktivnimi odpadki?* [Video]. 4d.rtv slo.si. Pridobljeno na <http://4d.rtv slo.si/arhiv/ozadja/174372309>
- Škerl, J. (8. 8. 2012). Strah pred sevanjem – brez radioaktivnosti nas ne bi bilo. *Bodieko.si*. Pridobljeno na <https://www.bodieko.si/sevanje-radioaktivnost>
- Špes, M. (2008). Pomen okoljske ozaveščenosti in sodelovanja javnosti za trajnostni razvoj. *Dela*, (29), 49–62.
- Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost. (2017). *IAEA*. Pridobljeno na <http://www.ursjv.gov.si/si/ursjv/mednarodno/iaea/>
- Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost. (2017). *Letno poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v Republiki Sloveniji leta 2016*. Pridobljeno na

http://www.uvps.gov.si/fileadmin/us.gov.si/pageuploads/Zakonodaja_in_dokumenti/Ionizirajoca_sevanja/Letna_porocila/2015/LP_2015.pdf

Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost. (2015). *Prvo slovensko poročilo o izvajanju Direktive Sveta 2011/70/Euroatom o varnosti ravnanja z izrabljenim gorivom in varnosti ravnanja z radioaktivnimi odpadki*. Pridobljeno na http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Porocila/PorocilaEU/WD_porocilo_slovensko.pdf

Uredba o državnem prostorskem načrtu za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov na lokaciji Vrbina v občini Krško. (2009, 2012). *Uradni list RS*, (114/09, 50/12).

Uredba o načinu, predmetu in pogojih opravljanja gospodarske javne službe ravnanja z radioaktivnimi odpadki. (1999, 2004, 2017). *Uradni list RS*, (32/99, 41/04, 76/17).

Ustava Republike Slovenije (URS-NPB9). (2013). *Uradni list RS*, (47/13).

Veselič, M. (n. d.). *Odlagališče za radioaktivne odpadke v Sloveniji*. Pridobljeno na <http://sloged.si/wp-content/uploads/Razprave%205.%20posvetovanja/v2.pdf>

Vlada Republike Slovenije. (2010). *Državni načrt zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči*. Pridobljeno na <http://www.sos112.si/slo/tdocs/jedrska.pdf>

Zakon o državni upravi (ZDU-1). (2005, 2007, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016). *Uradni list RS*, (113/05, 89/07, 126/07, 48/09, 8/10, 8/12, 21/12, 47/13, 12/14, 90/14, 51/16).

Zakon o nadzoru izvoza blaga z dvojno rabo (ZNIBDR). (2004, 2010). *Uradni list RS*, (37/04, 8/10).

Zakon o odgovornosti za jedrsko škodo (ZOJed-1). (2010). *Uradni list RS*, (77/10).

Zakon o prevzemu nevarnega blaga (ZPNB). (2006, 2009, 2010, 2015). *Uradni list RS*, (33/06, 41/09, 97/10, 56/15).

Zakon o ratifikaciji Pogodbe med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo in Skupne izjave ob podpisu Pogodbe med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi

- statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo (BHRNEK). (2003). *Uradni list RS*, (5/03).
- Zakon o skladu za financiranje razgradnje Nuklearne elektrarne Krško in odlaganja radioaktivnih odpadkov iz Nuklearne elektrarne Krško (ZSFR). (2003, 2008). *Uradni list RS*, (47/03, 68/08).
- Zakon o trajnem prenehanju izkoriščanja uranove rude in preprečevanju posledic rudarjenja v Rudniku urana Žirovski vrh (ZTPIU). (2006). *Uradni list RS*, (22/06).
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1). (2006). *Uradni list RS*, (39/06).
- Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1). (2017). *Uradni list RS*, (76/17).
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (ZVNDN). (2006, 2010, 2018). *Uradni list RS*, (51/06, 97/10, 21/18).
- Žagar, T. (25. 5. 2016). *Slovenian approach to strategy and planning for high level waste and spent fuel deep geological disposal* [Predstavitev]. Pridobljeno na http://www.arao.si/uploads/datoteke/Slovenia_%C5%BDagar.pdf
- Železnik, N. (2004). Kako ocenjujemo lastnosti odlagališča. *Raopis*, 13, 4–5.
- Železnik, N. (2008). Koliko vemo o radioaktivnih odpadkih in radioaktivnosti?. *Raopis*, 16, 5–8.

PRILOGA A: INVENTAR

Izvor odpadkov po povzročiteljih in končna rešitev za različne vrste odpadkov in izrabljenega goriva (vir: URSJV, 2015).

<i>Povzročitelj odpadkov</i>	<i>Vrsta odpadkov</i>	<i>Skupina odpadkov</i>	<i>Končna rešitev</i>
NEK (Nuklearna elektrarna Krško)	Produkti sežiganja (A)	NRAO + SRAO	Odlagališče NSRAO
	Posušene izrabljene smole ionskih izmenjevalcev iz sekundarnega kroga (BR)		
	Stisljivi odpadki (CW)		
	Koncentrat izparilnika (EB)		
	Izrabljeni filtri (F)		
	Drugi odpadki (O)		
	Stisnjeni odpadki leta 1988, 1989 (SC)		
	Izrabljeni ionski izmenjalci (SR)		
	TTC, v katere so vloženi stisnjeni odpadki leta 1994 in 1995, 387 standardnih, nestisnjenih sodov ter stiskanci sprotnega superkompaktiranja 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 in 2014. V letu 2014 so bili v TTC vstavljeni tudi produkti sežiga (ST)		
	Posušene izrabljene smole ionskih izmenjalcev iz primarnega (PR) in sekundarnega kroga (BR) ter koncentrat izparilnika (DC) v cevnem vsebniku (TI)	Izrabljeno jedrsko gorivo	Odlaganje v globokih geoloških plasteh, odprta možnost večnacionalnega odlagališča

Centralno skladišče (CSF)	T1 (trdni, stisljivi, za sežig)	NRAO + SRAO	Odlagališče NSRAO
	T2 (trdni, stisljivi, niso za sežig)		
	T3 (trdni, nestisljivi, za sežig)		
	T4 (trdni, nestisljivi, niso za sežig)		
	ZV0 (ionizacijski javljalniki požara)	SRAO	
	ZV1 (izrabljeni zaprti viri z: $A \leq 3,7 \text{ GBq}$)	NRAO + SRAO	
	ZV2 (izrabljeni zaprti viri z: $3,7 \text{ GBq} < A \leq 37 \text{ GBq}$)		
	ZV3 (izrabljeni zaprti viri z: $37 \text{ GBq} < A \leq 370 \text{ GBq}$)		
	ZV4 (izrabljeni zaprti viri z: $A > 370 \text{ GBq}$)		
TRIGA MARK II	Odpadki iz raziskovalnega reaktorja	NRAO + SRAO	Odlagališče NSRAO
		Izrabljeno jedrsko gorivo (IJG)	Vrnitev v državo izvora ali odlaganje v globoke geološke plasti
RŽV – Jazbec	Jamska jalovina	Radioaktivni odpadki z naravnimi radionuklidi	Odlaganje na odlagališče Jazbec
RŽV – Boršt	Hidrometalurška jalovina	Radioaktivni odpadki z naravnimi radionuklidi	Odlaganje na odlagališče Boršt

PRILOGA B: MINIMALNI VPLIVI DEJAVNOSTI ARAO NA OKOLJE

Izračuni doz, ki jih zaradi obratovanja skladišča prejmejo osebe, ki se zadržujejo v bližini skladišča

(vir: ARAOh, 2018).

Predstavniki referenčne skupine	Zakonska dovoljena efektivna doza A	Ocenjena povprečna prejeta efektivna doza od leta 2012 do 2016 B	Delež ocenjene povprečne efektivne doze glede na dovoljeno B/A x 100	Ocenjena povprečna efektivna doza v deležu letne efektivne doze zaradi naravnih virov* B/2,4 mSv/leto x 100
Varnostnik RIC Instituta Jožefa Stefana	1 mSv/leto	0,00040 mSv/leto	0,040 %	0,017 %
Delavec RIC Instituta Jožefa Stefana	1 mSv/leto	0,00086 mSv/leto	0,086 %	0,036 %
Okoliški kmet	1 mSv/leto	0,00002 mSv/leto	0,002 %	0,001 %
Delavec ARAO (najbolj izpostavljeni)	20 mSv/leto	0,085 mSv/leto	0,43 %	3,54 %

Rezultati vsakoletnih meritev izpustov radioaktivnih snovi iz CSRAO ter ravni ionizirajočega sevanja in koncentracije radioaktivnih snovi v okolici skladišča dokazujejo, da so vplivi dejavnosti ARAO na okolje minimalni (ARAOh, 2018).