

Dokument:	NSRAO2-POR-030	Naročnik:
Ident.,. Oznan. ARAO	02-08-011-004	REPUBLIKA SLOVENIJA Gregorčičeva ulica 20, 1000 Ljubljana
Datum:	marec 2019	
Revizija	5	
Število izvodov:		Po pooblastilu: ARAO, Ljubljana, Celovška cesta 182, 1000 Ljubljana
Objekt:	Odlagališče NSRAO Vrbinja, Krško	
Izvajalec:	ARAO, Ljubljana	
Odgovorni vodja projekta	mag. Sandi Viršek, univ. dipl. inž. geoteh. in rud.	
Naslov dokumenta: <div style="text-align: center;"> osnutek Varnostnega poročila za odlagališče NSRAO Vrbinja, Krško Poglavje 12 Zaprtje odlagališča </div>		

SLEDLJIVOST

Revizija:	Datum (predhodne) revizije:	Kratek opis sprememb, glede na predhodno revizijo:	Opombe:
1	maj 2017	dopolnitev po recenziji	
2	januar 2018	dopolnitev po pregledu pooblaščenca za jedrsko in sevalno varnost	
3	november 2018	dopolnitev po pregledu URSJV	
4	februar 2019	dopolnitev po pregledu URSJV	
5	marec 2019	dopolnitev vloge	

VSEBINA

12	ZAPRTJE ODLAGALIŠČA	5
12.1	DOLGOROČNI NADZOR.....	9
12.1.1	Aktivni dolgoročni nadzor	13
12.1.2	Pasivni dolgoročni nadzor	18
12.2	LITERATURA.....	20

KRATICE IN POJMI

ARAO – Agencija za radioaktivne odpadke

IDP – Idejni projekt

JV5 – Pravilnik o dejavnikih sevalne in jedrske varnosti, Ur. l. RS 74/16

JV9 – Pravilnik o zagotavljanju varnosti po začetku obratovanja sevalnih ali jedrskih objektov
– Pravilnik JV9, Ur. l. RS 85/09, 8/10, 87/11

JV10 – Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti Ur. l. RS 20/07, 97/09

NEK – Nuklearna elektrarna Krško

NSRAO – nizko-in srednjeradioaktivni odpadki,

URSJV – Uprava RS za jedrsko varnost,

ZVISJV - Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti, ZVISJV-UPB2, Ur.l. RS 102/04 z dopolnitvami

Polnilni material – beton za polnjenje praznin v silosu

Odlagalni objekt – odlagalni silos

Odlagalni zabojnik - Zabojnik napolnjen z NSRAO in pripravljen na odlaganje

12 ZAPRTJE ODLAGALIŠČA

Poglavje, ki obravnava zapiranje celotnega odlagališča (kot jedrskega objekta) ter zapiranje odlagalnega objekta (silosa), je povzeto po referenčni dokumentaciji za odlagališče NSRAO – Zapiranje odlagališča [1]. Opisane so tudi dejavnosti in postopki dekontaminacije, demontaže ter odstranitve vseh radioaktivnih odpadkov iz neodlagalnega dela odlagalnega objekta (silosa in hale nad silosom).

Cilj zapiranja je zaprtje odlagališča. Zaprtje odlagališča je dokončanje vseh ukrepov, ki jih je treba izvesti za zagotovitev dolgoročne varnosti odlagališča. Po zaprtju pridobi odlagališče status zaprtega odlagališča, za katerega morata biti zagotovljena dolgoročni nadzor in vzdrževanje. Odločbo o statusu zaprtega odlagališča po zaprtju odlagališča izda URSJV hkrati z izdajo odločbe o prenehanju statusa jedrskega objekta [2].

Odlagališče NSRAO je jedrski objekt, v sklopu katerega se izvajajo vse dejavnosti, ki so neposredno povezane z odlaganjem odpadkov.

Širše območje odlagališča obsega:

- vhodni del odlagališča,
- ožje območje odlagališča,
- proste površine odlagališča ter
- površine za priključevanje na gospodarsko infrastrukturo.

Obseg programa zapiranja

Program zajema zapiranje celotnega odlagališča (kot jedrskega objekta) ter tehnične in druge postopke zapiranja odlagalnega objekta (odlagalnega silosa). Dokument zajema tudi dejavnosti in postopke dekontaminacije, demontaže ter odstranitve vseh radioaktivnih odpadkov iz neodlagalnega dela objekta. Razgradnja (neodlagalnega) dela odlagališča je obravnavana v referenčni dokumentaciji Program razgradnje odlagališča NSRAO Vrbin, Krško [3].

Seznam objektov ter mehanskih in električnih sistemov, ki so predmet programa:

1. Odlagalni objekt - Odlagalni silos (R)
2. Hala (nad silosom) (R)
3. Kontrolni bazen (R)
4. Objekti fizičnega varovanja
 - a. Zunanja ograja
 - b. Notranja ograja
5. Plato in objekti zunanje ter krajinske ureditve
 - a. Platoji in utrjene površine okoli silosa
 - b. Ozelenjene površine

Opomba: z (R) so označeni objekti v nadzorovanem področju, ki so lahko kontaminirani in bodo predmet zapiranja.

Sistemi in naprave na območju odlagalne enote

Strojno-tehnološki sistemi in naprave

Sistemi:

1. Sistem odvajanja vode iz območja odlagalnega silosa (R)
2. Prezračevanje (R)

3. Zunanje hidrantno omrežje

Naprave:

1. Naprave za izvajanje internega transporta
 - a. Portalno dvigalo nad silosom s prijemalom (R)
 - b. Osebnostno dvigalo v dostopnem jašku silosa (R)

Opomba: z (R) so označeni potencialno kontaminirani sistemi in naprave v nadzorovanem področju, ki bodo predmet zapiranja.

Elektro sistemi in naprave

1. Napajanje (R)
2. Rezervno napajanje (R)
3. Strelovodi (R)
4. Ozemljitve (R)
5. Razsvetljava (R)
6. Zunanja razsvetljava (R)
7. Varnostna razsvetljava (R)
8. Vodenje in nadzor procesov (R)
9. Radiološki nadzor (R)
10. Požarno javljanje (R)
11. Varnostni nadzor/nadzor dostopnosti (R)
12. Razglas/paging (R)

Opomba: Vsi elektro sistemi in naprave se deloma pojavljajo tudi v neodlagalnem delu odlagališča in bodo potencialno kontaminirani. Ti deli sistemov in naprav bodo predmet razgradnje.

Strategija zapiranja

V primeru sprejetja odločitve o dokončnem zaprtju odlagališča po koncu razgradnje NEK, se bo po koncu razgradnje NEK začelo zapiranje odlagališča. Dejavnosti razgradnje tehnoloških objektov (prvi korak) in zapiranja odlagališča (drugi korak) se bo začelo izvajati na podlagi dovoljenja pristojnega organa [4] in se jih bo usklajeno izvajalo v skladu s Programom razgradnje in Programom zapiranja. Razgradnja se izvaja le za tehnološke objekte oziroma za objekte v nadzorovanem območju. Tehnični postopki, ki so sestavni del razgradnje (dekontaminacija, rušitve, demontaža...) se bodo (v skladu s Programom zapiranja) izvajali tudi na območju odlagalne enote (silosa) [4]. Po izvedbi zapiranja v skladu s Programom bo upravni organ izdal odločbo o statusu zaprtega odlagališča in hkrati odločbo o prenehanju statusa jedrskega objekta [4]. Glavni elementi strategije in značilnosti zapiranja:

- Po izvedbi razgradnje neodlagalnih objektov odlagališča se vse NSRAO iz razgradnje odloži v odlagalni silos.
- Izvede se pregled sevalnih parametrov objektov, sistemov in naprav na odlagalnem delu odlagališča, ki predvidoma ne bodo sestavni del zaprtega in zatesnjenega silosa ter preliminarne razgradnje teh SSK. SSK, ki bodo presegali mejne vrednosti za odpravo nadzora in jih ne bo možno dekontaminirati bodo pripravljeni na odlaganje in odloženi v odlagalni silos.
- Odlaganje NSRAO v silos je zaključeno.
- Odlagalni silos se zapre (izvede se tesnitev praznin v silosu, izdelava krovna plošča nad odloženimi zabojniki z odpadki, tesnilni čep). Izvaja se odvod pronikle vode v silos.
- Preneha se z izčrpavanjem pronikle vode.
- Iz jaška odlagalnega silosa in iz hale se razgradijo (zanje se odpravi nadzor) in dokončno odstranijo vsi sistemi in naprave.

- Vse praznine v odlagalnem silosu (drenažne cevi, ipd.), strojnici v spodnji etaži silosa in v dostopnem jašku se zatesni.
- Nadzemne dele silosa z dostopnim jaškom in halo nad silosom se dokončno razgradi (odpravi nadzor) in poruši.
- Protipoplavni plato, na katerem so zgrajeni objekti, se ohrani.

Časovni potek razgradnje in zapiranja

Razgradnja tehnoloških neodlagalnih objektov v skladu s končnim Programom razgradnje odlagališča bo izvedena v letu 2061, v letu 2062 pa bo v skladu s Programom zapiranja zaprt odlagalni silos in odlagališče. V okviru zapiranja odlagališča bo opravljena tudi zatesnitev praznin v silosu. Izčrpavanje morebiti pronikle vode se bo prenehalo izvajati v kratkem obdobju po napolnitvi silosa z odpadki in zaprtju silosa. Odpadke, ki bodo nastali pri razgradnji odlagališča, se bo pripravilo na odlaganje v hali. Po odstranitvi/odložitvi vseh NSRAO se poruši tudi hala, ki bo po pripravi NSRAO iz razgradnje dekontaminirana, morebitni odpadki iz dekontaminacije pa odloženi kot zadnji NSRAO.

Postopek razgradnje in zapiranja bo vodil in izvajal ARAO s pomočjo zunanjih izvajalcev. V postopke razgradnje odlagalnega dela odlagališča in zapiranja bodo vključena vsa delovna mesta odlagališča, ki bodo zagotovila izvajanje: dejavnosti splošnih služb, dejavnosti tehničnih služb, dejavnosti varstva pred sevanji in fizično varovanje.

Zunanji izvajalci bodo izvajali zlasti: gradbena dela, rušitve in demontažo, večje dekontaminacijske posege in pripravo odpadkov iz razgradnje na odlaganje.

Dejavnosti zapiranja

Dekontaminacija

V primeru normalnega obratovanja odlagališča kontaminacija objektov, naprav in sistemov ni predvidena. Vsi prostori in površine nadzorovanega dela odlagališča bodo vzdrževani v čistem (nekontaminiranem) stanju. V primeru kontaminacije (npr. zaradi nezgode) bo takoj izvedena dekontaminacija in ponovno vzpostavljeno čisto stanje.

Obsežnejša dekontaminacija se zato v času zapiranja ne bo izvajala. Sproti z izvajanjem meritev za opustitev nadzora se bo po potrebi izvajala le dekontaminacija površin (npr. vgrajenih cevovodov, kanalet, ipd.), ki jih v času obratovanja ni bilo možno dekontaminirati. Dekontaminacija se bo izvajala zlasti s pomočjo dekontaminacijskih kemičnih sredstev in odstranjevanjem kontaminacije z vpojnimi sredstvi. Dekontaminacija betonskih površin z odstranjevanjem gornje plasti se načeloma ne bo izvajala.

Rušenje in demontaža

Pri demontaži vseh sistemov in naprav, ki bi bili lahko kontaminirani (v seznamu oznaka R), se bo sproti izvajalo merjenje kontaminacije. Demontirani in odstranjeni bodo vsi sistemi in naprave v silosu in hali nad silosom in v kontrolnem bazenu.

Od betonskih objektov bo porušen le zgornji del dostopnega jaška v silosu (v območju izgradnje tesnilnega čepa) in betonski elementi hale ter kontrolni bazen s pripadajočimi jaški za odvod vode iz silosa.

Razstavljena bo tudi hala.

Odstranitev odpadkov in ruševin

V celoti naj bi, kot posledica delovanja in razgradnje odlagališča NSRAO, nastalo za približno dva odlagalna zabojnika N2b NSRAO, ki jih bo treba odložiti v odlagališče (koristna prostornina zabojnika znaša $6,31 \text{ m}^3$) – ocena na podlagi reference [5]. Večji del teh odpadkov bo posledica razgradnje neodlagalnega dela odlagališča.

Pred izvedbo zatesnitve silosa bo iz silosa odstranjeno: kovinski deli stopnic, podesti in druge kovinske gradbene podporne konstrukcije; osebno dvigalo; strojne inštalacije, vključno s črpalkami; in elektro inštalacije in naprave.

Prostornina odstranjene opreme bo znašala nekaj 10 m^3 masa pa od 5 do 10 t. Večji del te opreme bo opredeljen kot neradioaktivni odpadki in predan pooblaščenim organizacijam. Manjši del (30 %) pa bo možno nameniti nadaljnji rabi (npr. osebno dvigalo). Nadaljnji rabi bo možno nameniti tudi del demontirane jeklene konstrukcije hale (skupna masa približno 220 t). Privzamemo, da bo 10 % demontirane konstrukcije opredeljeno za gradbeni odpadki. Za gradbeni odpadki bo opredeljena tudi celotna strešna kritina (30 t) in 20 % fasadne obloge (s skupno maso 65 t).

Nadaljnji rabi je potencialno možno nameniti tudi dvigalo z žerjavno progo. Po odstranitvi dvigala in hale bo odstranjena tudi talna plošča hale na lokaciji silosa (približno 800 m^3 oziroma 1980 ton AB – armiranega betona), asfaltne površine v okolici bivše hale (1570 m^2 oziroma 320 t), pripadajoči robniki (170 m, 5 t) in pohodne plošče (190 m^2 , 16 t) [6].

Izolacija objektov od okolja

Po zapolnitvi silosa z zabojniki z NSRAO se vse preostale praznine zapolni s polnilom (cementno malto oziroma betonom), odlagalni silos pa prekrije z betonsko ploščo ter s slojem nizkoprepustnega materiala, ki sega skoraj do ureditvene plasti na površini. Dela bodo izvajali zunanji izvajalci gradbenih del.

Po sprejetju odločitve o prenehanju izčrpavanja pronikle vode iz silosa bodo iz dostopnega jaška in spodnjega dela silosa (v katerem bo bazen s črpališčem) odstranjene vse inštalacije in naprave, vse praznine (vključno z drenažnimi vodi) pa zapolnjene s polnilnim materialom (cementno malto oziroma betonom). S tem bo omejen pretok podtalnice, zagotovljena dolgoročna stabilnost lokacije in onemogočeno zaruševanje podzemnih prostorov. Dela bodo izvajali zunanji izvajalci gradbenih del pod vodstvom osebja odlagališča.

Sanacija lokacije

Upravno-servisni objekt in tehnološki objekt s pripadajočimi utrjenimi površinami, dovozi in zelenimi površinami, bosta po zaprtju odlagališča predana v drugo, neomejeno rabo oziroma se bo z njima ravnilo v skladu s Programom zapiranja.

Zunanja ograja okoli odlagališča bo lahko odstranjena oziroma se bo z njo ravnilo v skladu s Programom zapiranja. Prav tako notranja ograja, razen okoli območja odlagalnega silosa. To ograjo se vzdržuje še ves čas aktivnega dolgoročnega nadzora.

Revegetacija s prvotnimi rastlinskimi vrstami

Površine, s katerih so bili odstranjeni objekti in asfaltne površine bodo ozelenjene. Na območju izvajanja aktivnega dolgoročnega nadzora se zagotavlja košnja trave vse obdobje aktivnega dolgoročnega nadzora.

Za ostale površine ni omejitev glede revegetacije.

Ravnanje s sekundarnimi radioaktivnimi odpadki ob zaprtju

Del sekundarnih odpadkov bo nastal v postopku zapiranja odlagališča oziroma razgradnje neodlagalnih tehnoloških objektov in naprav odlagališča. Ti odpadki bodo deloma obravnavani

na način, ki je v splošnem opisan za primarne odpadke, deloma pa bo za tovrstne odpadke treba izvajati postopke predelave in priprave na odlaganje izven NEK in TO (saj bosta v času predelave predvidoma že razgrajena). Pripravo teh zadnjih odpadkov iz razgradnje se bo izvajalo v hali nad odlagalnim silosom.

Opadki bodo vstavljeni neposredno v odlagalni zabojnik ali pa poprej v 200-litrski sod.

12.1 DOLGOROČNI NADZOR

Poglavje je povzeto po referenčni dokumentaciji za odlagališče NSRAO: Načrt dolgoročnega nadzora in vzdrževanja po zaprtju odlagališča NSRAO Vrbin, Krško [7]. Podan je tudi povzetek varnostnih analiz za čas po zaprtju odlagališča [8].

Povzetek varnostnih analiz za odlagališče NSRAO po zaprtju

Pri izvedbi aktualnih varnostnih analiz, ki obravnavajo odlagališče po zaprtju in so podrobneje predstavljene v 7. poglavju tega poročila, so bile upoštevane upravne omejitve, ki so podane v pravilniku JV5 [9], poročilih ICRP [10], [11], Pravilnik o pitni vodi [12] in ostalih priporočilih, ki so podrobno predstavljena v 7. poglavju tega poročila.

Varnostne analize za odlagališče NSRAO so bile narejene za celoten inventar NSRAO, nastalih na območju RS (scenarij SA.2), v poglavju nezanesljivosti pa so bile ocenjeni tudi vplivi odložitve manjše ali večje količine odpadkov. Parametri vodnega toka skozi odlagalni sistem in lokacijo, so bili pridobljeni s pomočjo podrobnih modelov bližnje in daljne okolice. Ti pa so bili nato povzeti v sistemskem modelu, s katerim so bile izvedene tudi občutljivostne analize. V sistemskem modelu je bilo privzeto, da je celoten inventar odložen v en odlagalni silos, pri tem je bilo privzeto:

- Zaradi konservativne uporabe eno dimenzionalnega navpičnega toka skozi odlagališče je vpliv gradnje drugega silosa na vertikalni tok zanemarljiv.
- Z razporeditvijo odpadkov v dva silosa bi se zmanjšala specifična koncentracija oz. specifična aktivnost, vendar v modelih noben radionuklid ni omejevan z mejami topnosti, tako, da na model razporeditev nima vpliva.
- Z razporeditvijo odpadkov v dva silosa bi se povečala površina potencialnih izpustov (bi se podvojila), kar pa bi pomenilo znižanje koncentracij tako v vodnjaku, kot v oblaku onesnaženja.

Zaradi zgoraj naštetih razlogov lahko zaključimo, da je privzeta odložitev vsega inventarja v en silos konservativni pristop in tako pridobljeni rezultati predstavljajo zgornjo ovojnico vpliva odlagališča na okolje in človeka

Iz rezultatov determinističnih varnostnih analiz sledi:

- Rezultati varnostne ocene pri nominalnem scenariju razvoja dogodkov so bistveno nižji od predpisane omejitve 0,3 mSv/leto na predstavnika kritične skupine prebivalstva, kljub konzervativnim predpostavkam uporabe vode iz vodnjaka.
- Rezultati, pridobljeni pri scenariju brez uporabe vode iz vodnjaka, izkazujejo veliko nižje doze, reda velikosti 10^{-6} mSv/leto. To dokazuje velik doprinos vode iz vodnjaka k skupni ocenjeni dozi. Pri bolj realistični uporabi vodnjaka v nominalnem scenariju bi bile

ocenjene doze za nominalni scenarij veliko nižje, kar pomeni, da so varnostne rezerve za odlagališče veliko večje, kot je na prvi pogled razvidno iz nominalnega scenarija.

- Rezultati scenarija z alternativno porušitvijo inženirskih pregrad (pride do sekvenčne porušitve pregrad) kažejo kasnejše in nižje dozne maksimume, kot pri nominalnem scenariju. Predvideva se, da je uporaba tega pod scenarija bolj realistična od samega nominalnega scenarija, kar še poveča varnostne rezerve odlagališča.
- Ob upoštevanju scenarija zgodnje porušitve inženirskih pregrad, je maksimalna ocenjena doza 3,24 mSv/leto, kar je še vedno manj od zakonske omejitve 10 mSv/leto za alternativne scenarije razvoja odlagališča, pri katerih so potrebni dodatni ukrepi. Ta scenarij bi lahko opisali tudi kot scenarij brez vseh inženirskih pregrad, saj nobena kombinacija FEPov ne vodi k uresničitvi takega scenarija.
- Rezultat scenarija meandriranje reke in erozija je zelo nizka ocenjena doza reda velikosti 10^{-6} mSv/leto.
- Rezultati za doze pri scenariju sprememb hidroloških pogojev so primerljivi z dozami za nominalni scenarij v času 10 000 let po zaprtju odlagališča. Ti rezultati kažejo, da nominalni scenarij predstavlja dobro osnovo za odločitev upravnega organa.

Verjetnostne analize in izračuni za obdobje 10 000 let po zaprtju kažejo:

- Deterministični rezultati za nominalni scenarij predstavljajo konzervativno varnostno oceno, vendar ne ekstremno, upoštevajoč nezanesljivost uporabljenih parametrov. Še več, izračun nominalnega scenarija je pod dovoljeno omejitvijo tudi za 95 percentil analiziranih parametrov.
- Rezultati pod scenarija brez uporabe vodnjaka kažejo zelo majhne doze v celotnem času, obravnavanem v varnostnih analizah, in predstavljajo veliko varnostno rezervo v primerjavi z dovoljeno upravno omejitvijo.
- Rezultati za scenarij meandriranja reke in erozije kažejo veliko varnostno rezervo tudi pri izračunih z 95. percentilom za analizirane parametre.

V okviru izvedenih občutljivostnih analiz lahko zaključimo:

- V obdobju, daljšem od 10 000 let od zaprtja odlagališča, sprememba koeficienta sorpcije za Ra -226 kaže nelinearen odnos med maksimumom in sorpcijo.
- Vpliv hitrosti degradacije inženirskih pregrad na maksimume, v obdobju daljšem od 10000 let od zaprtja odlagališča, se je izkazal kot malo pomemben.
- V obdobju do 10 000 let po zaprtju odlagališča je pomemben parameter hitrost podzemne vode v vodonosniku. Višje hitrosti vodijo v večjo razredčitev in manjše doze. Hitrost, uporabljena v nominalnem scenariju, se je izkazala kot konzervativna in kredibilna.
- Za obdobje, daljše od 10 000 let od zaprtja odlagališča, je pomemben parameter sorpcija v bližnji okolici odlagališča.
- Diskretizacija systemskega modela daljne okolice se je izkazala kot nepomemben parameter.
- Hitrost doze je direktno proporcionalna inventarju, kar je rezultat izbire generičnih parametrov topnosti, ki rezultirajo v konzervativni oceni uporabljenih mej topnosti in konzervativni oceni končnih rezultatov.

Analiza vpliva neradioaktivnih toksičnih kovin je pokazala, da odlagališče s svojimi potencialnimi izpusti dosega slovenske standarde za pitno vodo. Ovrednotenje vpliva

odlagališča na nečloveške organizme kaže zelo nizke hitrosti doze v primerjavi s sedanjimi ICRP priporočili.

Rezultati analiz nenamernega vdora človeka kažejo, da imamo opraviti z največjimi hitrostmi doze v primeru vdora takoj po prenehanju institucionalnega nadzora. V tem primeru je ocenjena doza na tistega, ki vdor izvede, 0,05 mSv/leto, maksimalna doza za prebivalca, ki biva na tem območju po vdoru, pa nekaj več kot 10 mSv/leto. Vdori, ki bi se zgodili v kasnejšem času po prenehanju nadzora, rezultirajo v manjših hitrostih doze. Ocenjeni rezultati kažejo, da imajo največji doprinos k dozi v primeru vdora, radionuklidi, ki se nahajajo v aktiviranih kovinah v odlagališču. Analiza pa ne upošteva problematike (neizvedljivosti) vdora – vrtanja skozi kovino z opremo, ki se uporablja za geotehnično vrtanje. Zaradi koncepta odlagališča je tudi verjetnost dogodka vdora ekstremno nizka in opravljene analize lahko opredelimo kot konzervativne. Ocenjen vpliv je še vedno pod mejo 100 mSv/leto, ko bi morali, skladno z zahtevo, privzeti dodatne optimizacije. Zaradi tega je privzeto, da dodatne optimizacije – ukrepi za zmanjšanje posledic za odlagališče NSRAO Vrblina, Krško niso potrebni in da je 300 let primerna dolžina trajanja institucionalnega nadzora za odlagališče NSRAO.

Varnostne rezerve v opravljenih varnostnih analizah izhajajo iz konservativnega pristopa k izvajanju varnostnih analiz. To se kaže na več področjih:

- scenariji so bili izbrani ob konservativnih predpostavkah kljub majhnim verjetnostim, da se zgodijo,
- izbranih je bilo več podscenarijev,
- uporabljeni so bili preizkušeni modeli,
- v modelih uporabljeni parametri so bili izbrani konservativno.

Minimalne varnostne rezerve, ki izhajajo iz zgornjih predpostavk, so tako za deterministične izračune predstavljene v posameznih poglavjih, ki predstavljajo rezultate za posamezne scenarije.

Z varnostnimi analizami je bilo tako ocenjeno, da je vpliv odlagališča po zaprtju pod predpisanimi omejitvami in je zanemarljiv [8].

Izvajanje dolgoročnega nadzora odlagališča NSRAO

Po zaprtju odlagališča bo odlagališče v najkrajšem možnem času prešlo v obdobje dolgoročnega nadzora, saj bo dolgoročni nazor ravno tako izvajal ARAO. V tem obdobju upravljavec ugotavlja in spremlja učinkovitost izvedenih dejavnosti zapiranja in izvaja potrebne vzdrževalne in korekcijske ukrepe, ki privedejo odlagališče v stanje, ki je ustrezno za predajo odlagališča v dolgoročni nadzor in vzdrževanje [13]. Po obdobju predaje v nadzor bo odlagališče prešlo v obdobje aktivnega dolgoročnega nadzora.

V primeru ugotovitve prekomernega vpliva zaprtega odlagališča na ljudi in okolje, bo glede na ugotovitve izdelan program sanacije. Kot prekomeren vpliv se za zaprto odlagališče NSRAO, upošteva doza, ki presega vrednost 0,3 mSv.

Merila, na podlagi katerih se glede na rezultate monitoringa in inšpekcijskega nadzora odloča o izvedbi vzdrževalnih del na odlagališču, bodo kot merilo za presojanje ukrepa upoštevala takratna določila ZVISJV (zdaj 37. člen). Referenčna raven za izredne dogodke je določena v

27. členu UV2 [14], ki opredeljuje mejne vrednosti kontaminacije površin (100 mSv na leto). Upravni organ pa lahko to vrednost tudi zniža. Hkrati pa pravilnik JV5 [9] v točki 8 Priloge 5 določa, da do vrednosti 10 mSv/leto ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni.

Aktivni dolgoročni nadzor se prične v začetku leta 2066, ko so opravljene vse dejavnosti priprave na oddajo v nadzor po obdobju predaje odlagališča v dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča (2063-2065) in ko izvajalec nadzora in vzdrževanja prevzame odlagališče v dolgoročni nadzor in vzdrževanje. Aktivni dolgoročni nadzor in vzdrževanje bosta trajala 50 let v obdobju 2066-2115 razen, če bo v naslednjih revizijah dokumenta in na podlagi varnostne analize ter obratovalnih izkušenj dolžina trajanja določena drugače.

Po koncu aktivnega dolgoročnega nadzora in vzdrževanja bo odlagališče prešlo v fazo pasivnega dolgoročnega nadzora. Nadzemni objekti odlagališča bodo odstranjeni ali predani v neomejeno rabo. Pasivni dolgoročni nadzor bo predvidoma trajal največ 250 let po koncu aktivnega dolgoročnega nadzora odlagališča (2116-2365) razen, če bo v naslednjih revizijah dokumenta in na podlagi varnostne analize ter obratovalnih izkušenj dolžina trajanja določena drugače.

V obdobju predaje odlagališča v dolgoročni nadzor bo obseg izvajanja meritev in vzdrževanja prilagojen obsegu pred zaprtjem odlagališča in bo najmanj v obsegu nadzora za aktivni dolgoročni nadzor.

V obdobju priprave in predaje odlagališča na dolgoročni nadzor se bo izvajal tako imenovani trendni monitoring z meritvami 2-3 krat letno vsa 3 leta tega obdobja. Te meritve bodo podlaga za natančnejšo kasnejšo analizo stanja in določitev oz. dopolnitev načrta dolgoročnega nadzora kot je predviden v tem dokumentu.

Zaradi odlaganja v silos, ki bo v globini skoraj 60 m, je potrebno bolj natančno spremljati razširjanje radionuklidov v okolje po vodni poti. Predvidevamo lahko, da radionuklidi lahko pridejo v okolje predvsem po tej poti, medtem ko je uhanje radionuklidov po zračni prenosni poti manj verjetno oziroma pričakujemo, da so bodo po zračni prenosni poti v okolje sproščale precej manjše aktivnosti [15].

Fizično varovanje odlagališča se bo izvajalo znotraj zunanje ograje odlagališča za vse objekte, ki niso razgrajeni in za območje odlagalnih enot.

Dejavnosti v obdobju priprave na oddajo odlagališča v dolgoročni nadzor se izvajajo v skladu s programom vzdrževanja in nadzora odlagalnih enot in drenažnega sistema odlagališča po zaprtju odlagališča in v skladu z zahtevami pravilnika JV9 [16].

To obdobje bo predvidoma trajalo tri leta, od začetka leta 2063 do konca leta 2065.

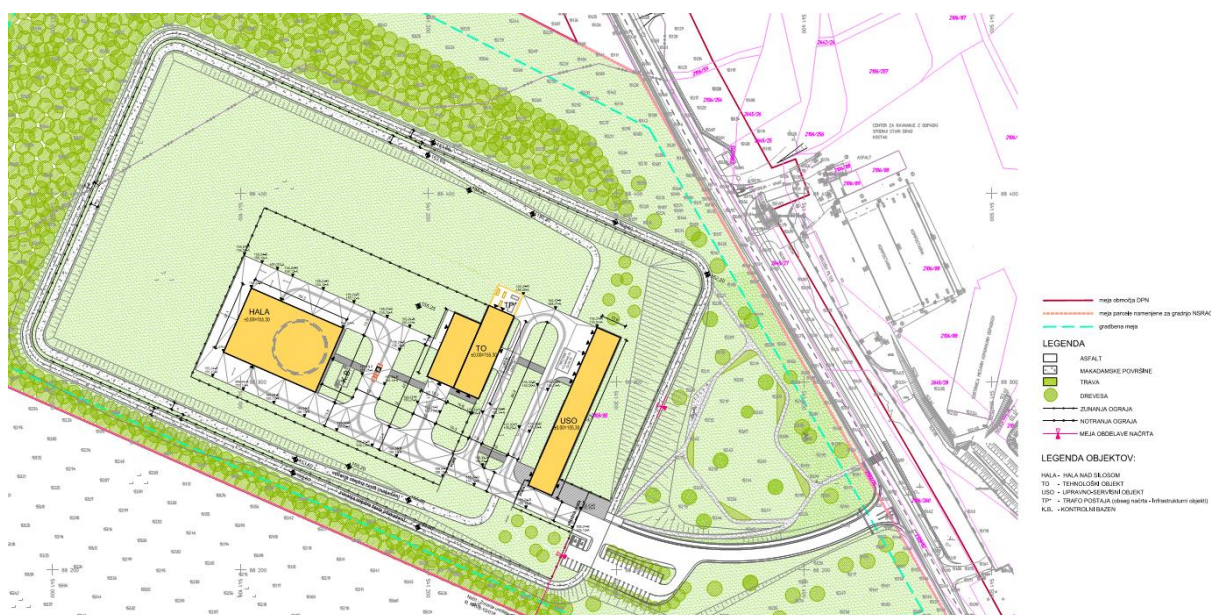
Nadzor odlagališča bo obsegal območje odlagališča, ki bo ograjeno z zunanjo ograjo, spremljevalne objekte, plato ob odlagalnih objektih in neposredno okolico, ki ima lahko vpliv na odlagališče, v katerem je mogoče z merilnimi postopki zaznati vpliv odlagališča. Natančno območje za monitoring okolja zunaj ograje odlagališča bo določeno v naslednjih posodobitvah dokumenta.

Tehnološki objekt po opravljeni razgradnji in ostali ne tehnološki objekti odlagališča se lahko uporabljajo za potrebe aktivnega dolgoročnega nadzora in vzdrževanja oziroma so lahko tudi začasno namenjeni drugi dejavnosti.

Zasedba zemljišč po fazah odlagališča je prikazana v tabeli 12-1 in na sliki 12-1.

Tabela 12-1 : Zasedba zemljišč [13].

Obdobje odlagališča - stanje	Mere zasedbe zemljišča
Faza prekinitve obratovanja (mirovanja) ali aktivnega dolgoročnega nadzora (območje objektov)	500 x 200 m (zunanja ograja)
Faza pasivnega dolgoročnega nadzora	30 x 30 m (silos)
Po predaji v neomejeno rabo	0



Slika 12-1: Razmestitev objektov odlagališča z označenimi mejami (ograjami) odlagališča [6].

Pri določanju zasedbe zemljišč je bilo v fazi IDP [17] predpostavljeno, da bodo v času mirovanja in aktivnega dolgoročnega nadzora vsi objekti ostali v funkciji in uporabi odlagališča oziroma upravljavca odlagališča ter da bodo v fazi pasivnega dolgoročnega nadzora vsi objekti z lokacije odstranjeni ali predani v neomejeno rabo [13]. Z razvojem projekta odlagališča in z upoštevanjem možnosti priprave NSRAO na odlaganje v NEK, je v nadaljnjih fazah projekta in posodobitvi tega programa skupaj s programom in strategijo razgradnje odlagališča treba določiti status posameznih objektov v vseh časovnih obdobjih odlagališča.

12.1.1 AKTIVNI DOLGOROČNI NADZOR

Aktivni dolgoročni nadzor se predvidoma prične leta 2066, ko so opravljene vse dejavnosti priprave na oddajo v nadzor in ko izvajalec dolgoročnega nadzora prevzame odlagališče v upravljanje in dolgoročni nadzor. V obdobju aktivnega dolgoročnega nadzora bo izvajalec upravljanja, dolgoročnega nadzora in vzdrževanja odlagališča v skladu s potrjenim in veljavnim Varnostnim poročilom skrbel zlasti za:

- izvajanje tehničnega monitoringa zaprtega odlagališča, s katerim se nadzoruje zagotavljanje varnostnih funkcij,
- vzdrževanje fizičnega varovanja objekta,
- redna vzdrževalna dela in čiščenje na sistemih, ki bodo še v funkciji vključno z merilno opremo,
- morebitna popravila in vzdrževanje prekrivnih, polnilnih in servisnih elementov odlagališča,
- spremljanje rasti vegetacije na odlagališču in preprečevanje zaraščanja travišča z gozdom.

Nadzor in vzdrževanje odlagališča in okolja

V okviru monitoringa radioaktivnosti odlagališča in monitoringa okolja v času aktivnega nadzora bo potrebno izvajati merjenje zunanjskega sevanja (gama), merjenje lastnosti podtalnice in merjenje tekočinskih izpustov iz sistema odvajanja vode iz območja odlagalnega dela odlagališča (tabela 12-2).

Tabela 12-2: Zasnova programa monitoringa radioaktivnosti odlagališča NSRAO v času aktivnega dolgoročnega nadzora v obdobju 2066-2116 [18], [19], [15].

Vrsta in opis merjenja	Vrsta vzorca	Vzorčevalno mesto	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve
ZUNANJE SEVANJE				
Pasivni dozimeter	doza zunanjskega sevanja	5 luminiscenčnih dozimetров (4 stranice območja in eno referenčno mesto ob odlagalnih enotah)	Kontinuirno	2 x letno
ZRAK (EMISIJE)				
²²² Rn	zrak – detektor sledi	4 Lokacije okoli silosa Referenčna lokacija	Kontinuirno	1 x letno
PODTALNICA				
Visokoločljivostna spektrometrija gama	tekočina	vrtna 5 globokih, 5 plitvih Referenčna lokacija	1 x letno	1 x letno
POVRŠINSKE VODE				
Visokoločljivostna spektrometrija gama	tekočina	Vtok kanala v gramoznico Spodnji Stari Grad	Kontinuirno vzorčevanje	1 x na leto

		Referenčna lokacija		
Gross alfa/beta	tekočina	Vtok kanala v gramoznico Spodnji Stari Grad Referenčna lokacija	Kontinuirno vzorčevanje	1 x na leto
Stroncij Sr-90, specifična analiza (radiokemična izolacija Sr-90, detekcija s proporcionalnim števcem)	Tekočina	Vtok kanala v gramoznico Spodnji Stari Grad Referenčna lokacija	Kontinuirno vzorčevanje	1 x na leto

Zasnova programa monitoringa radioaktivnosti, kot je predvidena v zahtevi za izvajanje obratovalnega monitoringa radioaktivnosti za odlagališče NSRAO v skladu s pravilnikom JV10 [18], je prilagojena načrtovanemu stanju objekta po razgradnji in zaprtju ter predvidenemu obsegu obratovalnega monitoringa [15], ki bo dokončno določen s pomočjo varnostnih analiz in ostale potrebne projektne dokumentacije.

Merjenje doze zunanjega sevanja zaradi kontaminacije zemljišča ne bo potrebno, ker bo morebitna kontaminacija v času obratovanja in razgradnje odlagališča sanirana/odstranjena med dejavnostmi zapiranja odlagališča [20].

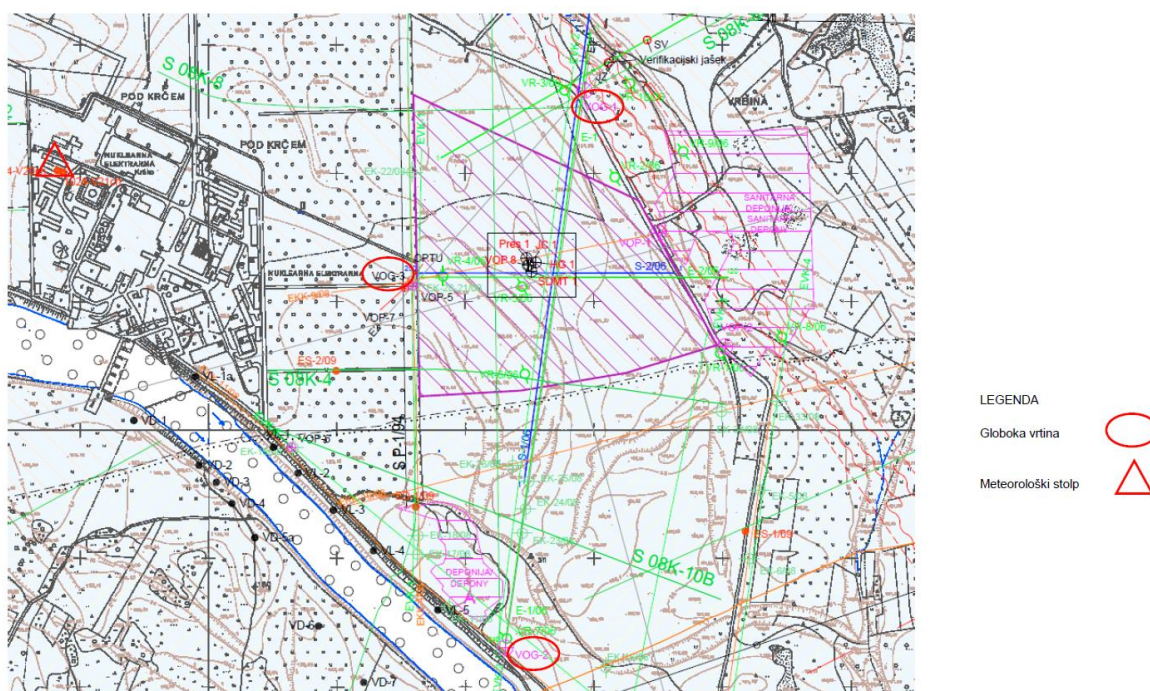
Zaradi zasutja in zatesnitve silosa in dostopnega jaška po zaprtju, v času aktivnega dolgoročnega nadzora ni predviden nadzor emisij aerosolnih filtrov iz teh objektov ter kontinuirne meritve Rn-222 v silosu. Predlagano je, da se vsa merjenja iz predloga obratovalnega monitoringa za Sr-90, C-14 in Pu-239 v podtalnici v času aktivnega dolgoročnega nadzora izvajajo 1x letno oziroma opustijo razen, če bodo rezultati meritev v času obratovanja objekta zahtevali drugače.

Zaradi dekontaminacije, demontaže in odstranitve zbiralnega bazena v silosu in kontrolnega bazena v času zapiranja odlagališča, se v času aktivnega dolgoročnega nadzora opusti vse meritve tekočinskih izpustov iz odlagališča.

V času aktivnega dolgoročnega nadzora se opustijo meritve radioaktivnosti v sedimentih površinske vode ter radioaktivnosti v hrani (povrtnine, poljščine, sadje) razen, če bodo rezultati meritev v času obratovanja objekta zahtevali drugače.



Slika 12-2: Lokacija merilnih mest in kontrolnih vrtin na lokaciji odlagališča [15].



Slika 12-3: Lokacije meteoroloških merilnih mest in kontrolnih vrtin izven lokacije odlagališča NSRAO.

Za nadzor migracije radionuklidov iz odlagališča je predviden sistem vrtin za zajem vzorcev. Predvidenih je pet plitvih vrtin (10 – 20 m) v neposredni bližini na vsaki strani odlagališča oziroma na tistih straneh odlagališča kamor teče vodni tok in dve globoke vrtnice (približno 100 m) na območju odlagališča. Za monitoring se bodo uporabljale tudi že obstoječe tri globoke vrtnice, ki se nahajajo izven območja lokacije odlagališča (slika 12-3). S tem bo zagotovljeno, da bo vsaj ena od globokih in plitvih vrtin gorvodno in več vrtin dolvodno od odlagalnega

objekta odlagališča. Na ta način bo ob odvzemih vzorcev vode in analizah omogočena primerjava koncentracije radionuklidov pred in po odlagališču tudi v času aktivnega dolgoročnega nadzora, po predlogu obratovalnega monitoringa, v času prve faze odlaganja NSRAO. Točne lokacije vrtin bodo določene na podlagi varnostnih analiz, ki bodo nakazale pomembna območja za izvajanje monitoringa [15]. Po dosedanjih analizah se bodo za potrebe monitoringa uporabljale iste vrtnice kot za potrebe izvajanje obratovalnega monitoringa.

Pri naboru radionuklidov, ki jih je potrebno spremljati, se spremlja tiste, ki imajo največjo aktivnost v odpadkih, kot to sledi iz dokumentov izdelave varnostnih analiz [8] in izdelave meril sprejemljivosti [21]. Poleg monitoringa radioaktivnosti je v manjšem obsegu predviden še fizikalno-kemijski monitoring podtalnice v okviru predlaganih plitvih in globokih vrtin (tabela 12-2), meteorološki monitoring, geodetski monitoring in monitoring stabilnosti odlagališča in brežin protipoplavnega platoja odlagališča (tabela 12-3). Predvideno je, da se v okviru dolgoročnega nadzora ne bo izvajalo biološkega monitoringa okolja.

Tabela 12-3: Druge vrste monitoringa odlagališča in okolja [18], [15]

Monitoring	Aktivnosti/meritve	Pogostost (redno)
Fizikalno-kemijski	Meritve posameznih kemijskih parametrov podtalnice (T vode, raztopljene snovi, pH, el. prevodnost, ...), stanje talne vode (nihanje)	1 x letno
Meteorološki	Temperatura, relativna vlaga, količina padavin, smer in hitrost vetra	Sprotno, avtomatsko
Stabilnost in geodetski monitoring	Spremljanje stabilnosti odlagališča, premikov in zdrsov brežin protipoplavnega platoja odlagališča	Na 3 leta, če je z meritvami potrjena stabilnost odlagališča in vplivne okolice ali ukinitvev, če to potrdi ustrezeni upravni organ na pobudo upravljavca/izvajalca

Enkrat letno bo potekalo izvajanje rutinskega nadzora odlagališča oz. je rutinski nadzor smiselno izvesti vsaj občasno v obdobju intenzivnih padavin, da se tako preveri delovanje sistemov za odtok padavinskih voda s površine odlagališča. Rutinski nadzor se bo izvedel tudi ob večjih potresih z namenom preverjanja stanja odlagališča, predvsem stanja projektiranih kontrol, kot so naravne in inženirske pregrade, zatesnitve silosa, stanje dovoznih poti, itd.

Za pravilno analizo zbranih podatkov je zelo pomembno poznavanje meteoroloških podatkov pred in med izvedbo vzorčenj oz. meritev, kar omogočajo podatki vremenske postaje [18]. Ker je v trenutnih načrtih predvideno, da bo izvajanje meteorološkega monitoringa zagotovljeno skupaj z NEK [6], je potrebno na lokaciji odlagališča po končani razgradnji NEK in v času aktivnega nadzora in vzdrževanja odlagališča uporabiti meteorološke podatke javne mreže postaj.

Geodetski monitoring se bo izvajal z uporabo razširjene geodetske mreže NEK.

Fizično varovanje se bo izvajalo na območju zaprtih odlagalnih enot znotraj zunanje ograje, ki bo predstavljala mejo varovanega območja in bo hkrati omejevala neposredni dostop do same lokacije odlagališča. Vrata oz. zapornica za dostop na odlagališče bodo, razen v času vstopa, stalno zaprta in zaklenjena.

Na vhodnih vratih in na varovalni ograji bodo postavljene opozorilne oznake in oznake za prepoved. Opozorilne oznake bodo vsebovale informacijo o lastniku in vrsti objekta, nevarnostih odloženih materialov v objektu – Pozor sevanje, prepoved dostopa nepooblaščenim in opozorilo, da voda na območju odlagališča ni pitna. Oznake bodo še posebej nameščene tudi nad odlagalnim delom odlagališča, da bi preprečile nenameren vdor človeka.

V okviru prehodnega obdobja pred začetkom izvajanja dolgoročnega nadzora in vzdrževanja bo potrebno urediti in kasneje vzdrževati tudi dostopne poti na odlagališče, ki bodo potrebne za izvajanje občasnih vzdrževalnih del (košnja, čiščenje kanalet, jarkov, sečnja dreves in grmovja na robu odlagališča) in sanacije morebitnih poškodb protipoplavnega platoja.

Aktivni dolgoročni nadzor bo predvidoma trajal 50 let po obdobju predaje odlagališča v dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča. Natančna dolžina trajanja bo določena na podlagi varnostne analize in vključena v posodobitev tega dokumenta.

12.1.2 PASIVNI DOLGOROČNI NADZOR

Ob koncu aktivnega dolgoročnega nadzora je treba pripraviti odlagališče na pasivni dolgoročni nadzor. Priprava zajema zlasti:

- odstranitev vse opreme za izvajanja meritev in druge oblike aktivnega nadzora;
- odstranitev objektov, ki so bili potrebni za izvajanje aktivnega nadzora oziroma predaja objektov v neomejeno rabo; ter
- odstranitev ograje oziroma prenehanje vzdrževanja ograje.

S pasivnim dolgoročnim nadzorom odlagališča bo poskrbljeno predvsem za:

- hranjene podatkov o odlagališču,
- zadržanje lastništva zemljišča odlagališča in
- prisotnost opozorilnih geodetskih oznak na odlagališču.

Za potrebe hranjenja zapisov o odlagališču bosta za čim daljše obdobje in morebitno rabo arhivirani vsaj dve vrsti informacij:

- Informacije, podatke, zapise in dokumentacijo, ki se nanaša na aktivnosti med obratovanjem in razgradnjo, podatke o odloženih odpadkih, podatke o izrednih dogodkih, podatke o lokaciji, mape lokacije, fotografije odlagališča in okolice, ...
- Podatke pridobljene z izvajanjem monitoringa odlagališča in okolja (radiološki, meteorološki, ...)

V skladu s 7a. členom ZVISJV [2] bo podrobnosti glede vrste in obsega dokumentacije ter načina varstva in hrambe dokumentarnega gradiva določil minister, pristojen za okolje.

Nadzemni objekti odlagališča bodo odstranjeni ali predani v neomejeno rabo. Nasuti plato odlagališča bo ostal ali bo odstranjen, odvisno od rezultatov varnostnih analiz in rezultatov nadzora med obratovanjem, pred zaprtjem in v času aktivnega nadzora po zaprtju.

Na območju odlagalnih enot bodo postavljene opozorilne oznake in oznake za prepoved, kot opozorilo pred nenamernim vdorom v odlagalne objekte. Opozorilne oznake bodo vsebovale informacijo o lastniku in vrsti objekta, nevarnostih odloženih materialov v objektu in osnovne informacije o odloženih NSRAO in njihovih lastnostih.

Fizično varovanje s stališča Pravilnika o fizičnem varovanju jedrskih objektov, jedrskih in radioaktivnih snovi ter prevozi jedrskih snovi [22] se z začetkom dolgoročnega nadzora preneha izvajati [23].

Pasivni dolgoročni nadzor bo trajal več desetletij po koncu aktivnega dolgoročnega nadzora, predvidoma 250 let. Obseg pasivnega dolgoročnega nadzora bo določen v skladu z Varnostnim poročilom.

12.2 LITERATURA

- [1] *Zapiranje odlagališča, Referenčna dokumentacija za OsVP, NSRAO2-POR-022-01 02-08-011-003 maj 2016.* IBE d.d.
- [2] *Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV), (Uradni list RS, št. 102/2004-uradno prečiščeno besedilo, 70/08-ZVO-1B, 60/2011, 74/2015).* .
- [3] *Program razgradnje odlagališča NSRAO Vrbin, Krško, Referenčna dokumnetacija za OsVP, NSRAO, NSRAO2-POR-003-00, 02-08-011-003,.* ARAO, 2016.
- [4] "Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV - D)." (Uradni list RS, št. 102/2004, 60/2011, 74/2015), 2015.
- [5] Consortium EISFI, *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Inventory report. Report No. EISFI-TR-(11)-12 Vol.1 Rev.4, NSRAO2-WAC-002-01-eng.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2015.
- [6] *Odlagališče NSRAO Vrbin, Krško, Idejna zasnova Rev.C.* 2016.
- [7] *Načrt dolgoročnega nadzora in vzdrževanja po zaprtju odlagališča NSRAO, referenčna dokumentacija za osnVP, NSRAO2-POR-008-00 02-08-011-003.* ARAO, 2016.
- [8] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Report on inventory of radionuclides and other toxic materials, EISFI-TR-(11)-05 Rev.2, NSRAO2-PCS-004-01-eng.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [9] *Pravilnik o dejavnih sevalne in jedrske varnosti (JV5).* (Uradni list RS, št. 74/16).
- [10] *Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Ann. ICRP, Vol. 28, 4. ICRP, 2000.*
- [11] *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a Ann. ICRP 36 (3). ICRP, 2006.*
- [12] *Pravilnik o pitni vodi.* (Uradni list RS, št. 19/04).
- [13] *Odlagališče NSRAO Vrbin, Krško, Tehnologija odlaganja.* IBE d.d., 2015.
- [14] *Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (UV2).* (Uradni list RS, št. 18/18).
- [15] *Obratovalni monitoring, referenčna dokumentacija za osnVP, NSRAO2-POR-028-00 02-08-011-003.* IBE d.d., 2016.
- [16] *Pravilnik o zagotavljanju varnosti po začetku obratovanja sevalnih ali jedrskih objektov (JV9).* (Uradni list RS, št. 81/16 in 76/17 – ZVISJV-1).
- [17] *Odlagališče NSRAO Vrbin, Krško, Idejni projekt Rev. A.* NSRAO-Vrb-IDP 01/09, IBE d.d., 2009.
- [18] *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10).* (Uradni list RS, št. 20/07, 97/09).
- [19] *Optimizacija neodlagalnega dela odlagališča.* NSRAO2-ŠTU-014-01, IBE d.d., 2014.

- [20] *Zaprtje odlagališča, Referenčna dokumnetacija za OsVP, NSRAO2-POR-022-00 02-08-011-003.* IBE d.d.
- [21] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia - General overview of Safety Assessmnet Report.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [22] *Pravilnik o fizičnem varovanju jedrskih objektov, jedrskih in radioaktivnih snovi ter prevozov jedrskih snovi.* (Uradni list RS, št. 17/13 in 76/17 – ZVISJV-1).
- [23] *Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško , fizično varovanje.* IBE d.d.