

Dokument:	NSRAO2-POR-030	Naročnik: REPUBLIKA SLOVENIJA Gregorčičeva ulica 20, 1000 Ljubljana Po pooblastilu: ARAO, Ljubljana, Celovška cesta 182, 1000 Ljubljana
Ident., Oznan. ARAO	02-08-011-004	
Datum:	april 2018	
Revizija	2	
Število izvodov:		
Objekt:	Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško	
Izvajalec:	ARAO, Ljubljana	
Odgovorni vodja projekta	mag. Sandi Viršek, univ. dipl. inž. geoteh. in rud.	
Naslov dokumenta:		
<div>osnutek Varnostnega poročila za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško</div> <div>Poglavje 7 Varnostne analize</div>		

SLEDLJIVOST

Revizija:	Datum (predhodne) revizije:	Kratek opis sprememb, glede na predhodno revizijo:	Opombe:
1	maj 2017	dopolnitev po recenziji	
2	april 2018	dopolnitev po pregledu pooblaščenca za jedrsko in sevalno varnost	

VSEBINA

7	VARNOSTNE ANALIZE.....	7
7.1	SPLOŠNE UGOTOVITVE.....	7
7.2	VARNOSTNE ANALIZE MED OBRATOVANJEM ODLAGALIŠČA NSRAO.....	8
7.2.1	<i>Assessment context – OCENA VSEBINE varnostnih analiz v času obratovanja odlagališča</i>	8
7.2.1.1	Zakonodajni okvir	10
7.2.1.2	Cilji varnostne analize med obratovanjem	10
7.2.1.3	Splošen metodološki pristop pri varnostnih analizah za odlagališče med obratovanjem	11
7.2.2	<i>Opis sistema</i>	11
7.2.2.1	Radioaktivni odpadki – inventar	11
7.2.2.2	Strukture, sistemi in komponente	16
7.2.3	<i>Scenariji med obratovanjem odlagališča</i>	18
7.2.3.1	Scenarij normalnega razvoja dogodkov.....	19
7.2.3.2	Scenariji nesreč – nenormalnega obratovanja (projektne nesreče)	20
7.2.3.2.1	Scenarij padca zaboynika (ne velja za obratovalno stanje mirovanja).....	20
7.2.3.2.2	Scenarij požara	21
7.2.3.2.3	Scenarij terorističnega napada	22
7.2.3.2.4	Scenarij padca letala	22
7.2.4	<i>Modeli</i>	22
7.2.4.1	Zunanje obsevanje.....	22
7.2.4.2	Model nastajanja plinov	23
7.2.4.3	Model vpliva izpustov v zrak znotraj zgradb.....	23
7.2.4.4	Model vpliva izpustov v zrak izven zgradb.....	25
7.2.4.5	Ovrednotenje DCF faktorjev za izračun efektivnih doz, ki jo lahko prejme posameznik v posamezni starostni skupini prebivalstva za odlagališče NSRAO v primeru nesreč	27
7.2.5	<i>Rezultati varnostnih analiz v času obratovanja</i>	27
7.2.5.1	Ocena doze za zaposlene pri scenariju normalnega razvoja dogodkov.....	28
7.2.5.2	Ocena doze na prebivalstvo pri scenariju normalnega razvoja dogodkov.....	29
7.2.5.3	Ocena doze pri padcu KPE v tehnološkem objektu	30
7.2.5.4	Ocena doze pri padcu KPE v silos.....	31
7.2.5.5	Ocena doze pri scenariju požara v tehnološkem objektu	32
7.2.5.6	Ocena doze pri scenariju terorističnega napada	33
7.2.5.7	Ocena doze pri scenariju padca letala	33
7.2.6	<i>Občutljivostna analiza varnostnih analiz v času obratovanja</i>	34
7.2.6.1	Sprememba v podatkih inventarja pri scenariju normalnega razvoja dogodkov	34
7.2.6.2	Variacija števila odloženih KPE v enem letu	37
7.2.6.3	Vpliv trajanja aktivnosti na odlagališču na oceno doze	38
7.2.6.4	Vpliv meteoroloških pogojev na scenarije nesreč – nenormalnega obratovanja	38
7.2.7	<i>Zaključki varnostnih analiz za čas obratovanja</i>	46
7.3	VARNOSTNE ANALIZE PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA NSRAO	47
7.3.1	<i>Splošen metodološki pristop</i>	47
7.3.2	<i>Assessment context - OCENA VSEBINE varnostnih analiz v času po zaprtju odlagališča</i>	49
7.3.2.1	Doze na predstavnika prebivalstva	51
7.3.2.2	Scenarij nenamernega vdora človeka.....	51
7.3.2.3	Vpliv na organizme različne od človeka	52
7.3.2.4	Varnostna ocena za neradioaktivne toksične materiale.....	53
7.3.2.5	Časovni okvir varnostnih analiz	53
7.3.2.5.1	Pristop k obdobju institucionalne kontrole	53
7.3.2.5.2	Pristop k dolgoročnim varnostnim analizam	54
7.3.3	<i>Opis sistema</i>	54

7.3.3.1	Lokacija odlagališča NSRAO	54
7.3.3.2	RADIOAKTIVNI ODPADKI – INVENTAR	54
7.3.3.2.1	Odpadki glede na tip materiala	55
7.3.3.2.2	Inventar radioaktivnih odpadkov	56
7.3.3.2.3	Inventar glede na vrsto materiala	56
7.3.3.2.4	Inventar glede na radionuklide	62
7.3.3.3	Inventar toksičnih snovi znotraj inventarja radioaktivnih odpadkov	67
7.3.3.4	Inženirske pregrade	68
7.3.3.4.1	Varnostne funkcije	69
7.3.4	Razvoj scenarijev in njihovo ovrednotenje	71
7.3.5	Oblikovanje in implementacija modelov	76
7.3.5.1	Model degradacije inženirskih pregrad	78
7.3.5.1.1	Sekvenčni razpad inženirskih pregrad	82
7.3.5.1.2	Simultan razpad inženirskih pregrad	82
7.3.5.2	Model bližnje okolice odlagališča	83
7.3.5.3	Model daljne okolice odlagališča	87
7.3.5.4	Model biosfere	90
7.3.5.5	Sistemiški model	91
7.3.5.6	Obravnava scenarija nenamernega vdora človeka v odlagališče	93
7.3.5.6.1	Vdor v odlagališče zaradi vrtnja	93
7.3.5.6.1.1	Model izračuna doze zaradi nenamernega vdora v odlagališče	94
7.3.5.6.2	Scenarij nenamernega vdora človeka – naselitev območja po vdoru	96
7.3.5.7	Možnost nastajanja tritija (H-3) in/ali C-14, ter radona (Rn-222) v plinih nastalih v odlagališču in njihov vpliv na ocenjeno efektivno dozo	97
7.3.6	Rezultati varnostnih analiz po zaprtju odlagališča – deterministični preračuni	98
7.3.6.1	Nominalni scenarij – scenarij normalnega razvoja	98
7.3.6.1.1	Različica nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad	114
7.3.6.1.2	Različica nominalnega scenarija brez vodnjaka	124
7.3.6.1.3	Različica nominalnega scenarija s konzervativno predpostavko uporabe vodnjaka	131
7.3.6.1.3.1	Uporaba vode iz vodnjaka za namakanje poljščin in zelenjave	132
7.3.6.1.3.2	Uporaba vode iz vodnjaka za napajanje živine	137
7.3.6.2	Scenarij zgodnje porušitve inženirskih pregrad	144
7.3.6.3	Scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad	154
7.3.6.4	Scenarij meandriranja reke in površinske erozije	164
7.3.6.5	Scenarij spremembe hidroloških pogojev	168
7.3.6.6	Scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče	168
7.3.7	Rezultati varnostnih analiz po zaprtju odlagališča – verjetnostni preračuni IN analiza občutljivosti	170
7.3.7.1	Nominalni scenarij – verjetnostni izračuni	171
7.3.7.1.1	Različica nominalnega scenarija brez vodnjaka	173
7.3.7.2	Zgodnja porušitev betonskih pregrad – verjetnostni preračuni	175
7.3.7.3	Scenarij meandriranja reke in površinske erozije – verjetnostni preračuni	177
7.3.7.4	Občutljivostna analiza za posamezne parametre	179
7.3.7.4.1	Sprememba sorpcije	179
7.3.7.4.2	Sprememba hitrosti razpada inženirskih pregrad	181
7.3.7.4.3	Sprememba začetnega časa razpada pri scenariju zgodnja porušitev betonskih pregrad	181
7.3.7.4.4	Sprememba hitrosti toka	182
7.3.7.4.5	Sprememba gostote diskretizacije prostora v modelu	183
7.3.7.4.6	Sprememba začetnega inventarja	184
7.3.8	Ocena vpliva toksičnih kovin	185
7.3.9	Ocena vpliva na ne človeške organizme (non human biota)	188
7.3.10	Zaključki varnostnih analiz za obdobje po zaprtju odlagališča	191
7.3.11	Obravnavanje negotovosti in analiza občutljivosti	194

KRATICE IN POJMI

CSRAO – Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov Brinje

DCRL - derived consideration reference levels

FEP – (features, events, processes) značilnosti, dogodki in procesi

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICRP - International Commission on Radiological Protection

IDP – Idejni projekt

IDZ – Idejne zasnove

IJS – Institut Jozef Stefan

KPE – končna pakirna enota

N2b – betonski kontejner – končna pakirna enota v katerega lahko odložimo 2 x 2 TTC ja ali ustrezno število sodov drugih volumnov

NEK – Nuklearna elektrarna Krško

NSRAO – nizko in srednje radioaktivni odpadki

ODE – Ordinary Differential Equations (navadne diferencialne enačbe)

osnVP – osnutek Varnostnega poročila

PDF - funkcija gostote verjetnosti (probability density function)

PIE – Postulated Initiating Events

RAO – Radioaktivni odpadki

RAPs – Reference Animals and Plants

SA.2 – scenarij investicije z sodelovanjem Hrvaške (odloženi vsi odpadki iz NEK in slovenski institucionalni odpadki)

SA.3 – osnovni scenarij investicije (odložen slovenski del odpadkov iz NEK in slovenski institucionalni odpadki)

TTC – Tube Type Container

7 VARNOSTNE ANALIZE

7.1 SPLOŠNE UGOTOVITVE

Varnostne analize in ocene so sestavni del življenjskega kroga jedrskega objekta kot je odlagališče NSRAO [1]. Prva iteracija varnostnih analiz je bila tako narejena že leta 2006 [2] v okviru Študije variant [3]. Namen teh analiz je bil za lokacijo Vrbin, Krško poiskati najbolj optimalen koncept odlaganja. Predlagan in kasneje potrjen v Državnem prostorskem načrtu (DPN) [4] je bil koncept odlaganja v podzemne silose, skopane s površja. Koncept je bil nato razvit do faze Idejnih zasnov rev C (IDZ) [5], kot je podrobneje opisano v poglavju 2.1. tega Osnutka varnostnega poročila (osnVP).

Naslednja iteracija varnostnih analiz in ocen je bila pripravljena po sprejetju DPN zaradi potrebe pridobivanja Okoljevarstvenega soglasja. V tej fazi so imele varnostne analize 2 glavna cilja:

- Pomoč pri optimizaciji odlagalnega koncepta odlagališča
- Podpora pri pridobivanju Okoljevarstvenega soglasja – zagotavljanje potrebnih preračunov in ocen za pripravo osnVP

Te varnostne analize so bile izvedene za konkretno lokacijo – Vrbin, Krško in razvit odlagalni koncept v pripovršinskih silosih.

Varnostne analize so v osnovi razdeljene na dva osnovna dela. To sta:

- Varnostne analize med obratovanjem odlagališča NSRAO in
- Varnostne analize po zaprtju odlagališča NSRAO

Tako bodo tudi predstavljene. Varnostne analize od leta 2010 naprej pripravlja konzorcij partnerjev, ki ga sestavljajo naslednja podjetja: ENCO (Dunaj), Intera (ZDA), Studsvik (Švedska), Facilia (Švedska) in Irgo (Slovenija). Celotno delo na področju varnostnih analiz je tako zbrano v poročilih, ki sledijo piramidalni strukturi dokumentov v treh nivojih.

Nivo 1: Dokument predstavlja splošen pregled nad izvedenimi varnostnimi analizami [6] in je izdelan v slovenskem in angleškem jeziku

Nivo 2: Sestavljajo sintezna poročila za posamezna področja v slovenskem in angleškem jeziku

- Varnostna ocena po zaprtju [7],
- Obratovalna varnostna ocena [8],
- Merila sprejemljivosti [9] in
- Poročila o optimizaciji [10].

Nivo 3: Podrobna poročila v angleškem jeziku

Varnostne analize za fazo pridobivanja okoljevarstvenega soglasja so se pričele izvajati že leta 2011 in so za svojo osnovo privzele podatke in IDP. V času optimizacije in razvoja projekta je bil le-ta spremljan v okviru varnostnih analiz, kjer so bile posamezne optimizacije analizirane

z vidika vpliva na jedrsko in sevalno varnost. Sprejete so bile le tiste optimizacije, ki so pozitivno doprinesle k jedrski in sevalni varnosti.

Pri izdelavi varnostnih analiz je bil privzet konservativni pristop, katerega glavni namen je analizirati najbolj neugodne scenarije v času obratovanja in po zaprtju odlagališča NSRAO. Tako pridobljeni rezultati predstavljajo ovojnico, ki prikazuje največji možni vpliv objekta odlagališča na človeka in okolje. V nadaljnjih fazah projekta bodo varnostne analize dopolnjene z novimi vhodnimi podatki, ki pa bodo, glede na optimizacije projekta ter zmanjševanje nezanesljivosti in konservativnosti varnostnih analiz dokazale manjši potencialni vpliv odlagališča na okolje.

7.2 VARNOSTNE ANALIZE MED OBRATOVANJEM ODLAGALIŠČA NSRAO

Naslednje poglavje podaja pregled in opis varnostnih analiz za obdobje med obratovanjem odlagališča NSRAO. Varnostne analize so podrobno opisane v poročilih, ki so bila pripravljena v okviru varnostnih analiz v letu 2012:

- Operational Safety Assessment Context Report [11],
- System description for Operational Safety Assessment [12],
- Operational Safety Assessment Report on Scenarios, Models and Results of Calculations [13].

Pripravljeno je bilo tudi poročilo, ki povzema zgoraj naštet, poročila:

- Obratovalna varnostna ocena [8].

Ker je pri pripravi projektne dokumentacije prišlo do optimizacije projekta odlagališča NSRAO [14], [15], [16], je za obratovalno varnost predvsem ključna optimizacija, da se priprava odpadkov na odlaganje ne izvaja več na lokaciji odlagališča, so bile varnostne analize glede obratovalne varnosti odlagališča nadgrajene in pripravljeno je bilo poročilo:

- Revised Operational Safety Assessment [17].

Poglavje 7.2 tega Osnutka varnostnega poročila povzema zgoraj naštet, poročila.

7.2.1 ASSESSMENT CONTEXT – OCENA VSEBINE VARNOSTNIH ANALIZ V ČASU OBRATOVANJA ODLAGALIŠČA

Glavni cilj varnostnih analiz za obdobje med obratovanjem odlagališča je zagotoviti zadostno in ustrezno zagotovilo vsem deležnikom (vladne službe, regulatorni organi, splošna javnost, strokovna javnost) na projektu odlagališča NSRAO, da je le to načrtovano in bo zgrajeno ter obratovano tako, da bo vpliv objekta na okolje, človeka in zaposlene sprejemljiv v vseh fazah delovanja tega objekta.

Ključne predpostavke varnostnih analiz za obdobje obratovanja so:

- Lokacija odlagališča (podrobneje predstavljena v 4. poglavju tega osnVP) Vrbin leži 300-400 m vzhodno od NEK. Območje se trenutno uporablja za kmetijstvo. Na zahodu jo omejuje nasad jabolk na vzhodu pa zaprto odlagališče komunalnih odpadkov, kjer sedaj deluje sortirnica komunalnih odpadkov.

- Lokacija odlagališča je v fazi obratovanja in predvidoma tudi v fazi dolgoročnega nadzora obdana z ograjo. Referenčno skupino prebivalstva med obratovanjem odlagališča predstavlja posameznik oz. skupina posameznikov, ki dela na polju neposredno ob ograji odlagališča 2016 ur v enem koledarskem letu (252 dni x 8 ur).
- Odlagališče je zasnovano kot pripovršinsko odlagališče NSRAO v slabo prepustnih miocenskih meljih, ki ležijo pod tankim kvartarnim vodonosnikom. Odlagališče bo zgrajeno na nadvišanem platoju, ki ščiti odlagališče pred največjimi možnimi poplavami. V tehnološkem objektu na lokaciji odlagališča se izvaja le sanacija potencialno poškodovanih KPE, priprava odpadkov na odlaganje (priprava KPE) se ne izvaja na odlagališču (priprava je predvidena v NEK).
- Priprava vseh NSRAO na odlaganje poteka v NEK, ki poskrbi tudi za prevoz zabojnikov, pripravljenih za odlaganje, do odlagališča. Za pripravo na odlaganje se uporabljajo odlagalni zabojniki, ki omogočajo razmeroma enostaven prevoz in ravnanja z njimi. Pripravo vseh NSRAO na odlaganje v NEK omogoča ZVISJV [18], ki v 95. členu upravljavcu jedrskega objekta dopušča skladiščenje in obdelavo radioaktivnih odpadkov in izrabljenega goriva za potrebe izvajalca obvezne državne gospodarske javne službe ravnanja z radioaktivnimi odpadki, če za tako ravnanje pridobi dovoljenje organa, pristojnega za jedrsko varnost. Dogovarjanja z NEK glede te aktivnosti so se že pričela, vendar še niso formalizirana.
- Odpadke se bo v odlagalni silos pričelo odlagati na globini približno 55 m pod površjem. Vsi odpadki bodo odloženi v betonskih N2b kontejnerjih. Predvidna je odložitev 10 plasti po 99 zabojnikov.
- Odlagališče NSRAO Vrbin je namenjeno odlaganju NSRAO, ki izhajajo iz obratovanja in razgradnje NEK, CSRAO in razgradnje raziskovalnega reaktorja TRIGA.
- Odlagališče je načrtovano za odložitev polovice odpadkov iz NEK in ostalih odpadkov, ki nastajajo v Sloveniji z možnostjo širitve odlagališča in odložitve vseh odpadkov iz NEK.
- Inventar za varnostne analize je bil pripravljen na podlagi poročila o inventarju iz leta 2015 [19], ki ga pripravil isti konzorcij, kot varnostne analize. Ta predstavlja celotni odloženi inventar, skladno s scenarijem SA.2 (vsi odpadki iz NEK in slovenski institucionalni odpadki). V primeru odlaganja po SA.2 scenariju to pomeni odložitev vseh odpadkov iz obratovanja NEK, ki bodo do takrat nastali in odložitev slovenskih institucionalnih odpadkov nato pa se silos zapre in odlagališče preide v fazo mirovanja. Nekaj let pred začetkom obratovanja 2. faze, se zgradi drugi silos. Prvi silos je zaprt in nima vpliva na gradnjo drugega silosa.
- Glavni tehnološki procesi, ki se bodo odvijali na odlagališču NSRAO so:
 - o sprejem odpadkov pripravljenih na odlaganje,
 - o preveritev KPE (preverba transportne dokumentacije, vizualna kontrola),
 - o radiološka kontrola KPE (kontrola paketa in vozila ob vstopu v radiološko opazovano območje),
 - o prevoz KPE do odlagalnega silosa,
 - o odložitev KPE v silos (raztovarjanje KPE iz vozila, faza spuščanja KP v silos, nadzor faze odlaganja),
 - o polnjenje praznin v silosu (med posameznimi KPE in KPE in steno silosa), in izgradnja izravnalne plasti na vsake 2 plasti zabojnikov, nadzor zapolnjevanja praznin in kontrola izvedbe izravnalne plasti,
 - o namestitev drenažnih cevi in kontrola namestitve.

Podrobneje je obratovanje odlagališča opisano v poglavju 9.1.1. tega osnVP.

7.2.1.1 Zakonodajni okvir

Zakon o varstvu pred ionizirajočim sevanjem in jedrsko varnostjo [18] je glavni zakonodajni okvir upoštevan pri pripravi varnostnih analiz. Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV 2) [20] (v letu 2018 je bila spremenjena uredba UV2, ki je uskladila mejne učinkovite doze z uredbo BSS95/2013, nova uredba bo upoštevana v Varnostnem poročilu za pridobitev gradbenega dovoljenja) pa določa mejne učinkovite doze za zaposlene in prebivalstvo. Te, upoštevane mejne doze so:

- 20 mSv/leto za zaposlene,
- 1 mSv/leto za predstavnika prebivalstva

ob tem pa morajo biti upoštevane še sledeče ekvivalentne doze za zaposlene:

- 500 mSv/leto za roke, podlahti, stopala in gležnje,
- 150 mSv/leto za očne leče in
- 500 mSv/leto za kožo,

ter sledeče ekvivalentne doze za prebivalstvo:

- 15 mSv/leto za očne leče in
- 50 mSv/leto za kožo.

v 10 členu uredba nato določa, da je potrebno optimizirati varstvo ljudi pred ionizirajočimi sevanji tako, da so izpostavljenosti celotnega prebivalstva in posameznikov iz prebivalstva ob upoštevanju gospodarskih in družbenih dejavnikov na kolikor mogoče nizki, vendar razumno dosegljivi ravni.

7.2.1.2 Cilji varnostne analize med obratovanjem

Izvedene varnostne analize med obratovanjem sledijo priporočilom povzetim v prejšnjem poglavju in so bile sestavljene iz izračunov učinkovite doze, ki ji bodo lahko izpostavljeni zaposleni in predstavniki prebivalstva (posamezniki in skupina), za scenarij normalnega razvoja dogodkov med obratovanjem in scenarij možnih nesreč med obratovanjem.

Izračunani vplivi so bili primerjani z omejitvami 20 mSv/leto za zaposlene in 0,2 mSv/leto za prebivalstvo. JV5 [21] sicer določa za prebivalstvo omejitev 0,3 mSv/leto, vendar je lokalna skupnost v okviru svojih smernic zahtevala omejitev vpliva odlagališča (zunanja obsevanost) na ograji 0,2 mSv/leto, kar je bilo v varnostnih analizah tudi upoštevano (pri tem je bilo upoštevano, da je vpliv NEK na zunanji ograji NEK manj kot 0,5 μ Sv/leto [22] in je bilo zato privzeta celotna vrednost 0,2 mSv/leto za odlagališče). Skladno z JV5 [21] predstavljata zgoraj navedeni vrednosti dovoljeni obremenitvi za posameznika po zaprtju odlagališča, v varnostnih analizah pa so bile iste vrednosti privzete tudi za obdobje obratovanja).

Osnovni cilji varnostnih analiz za obdobje med obratovanjem odlagališča so tako bili:

- določitev letne učinkovite doze na posameznega zaposlenega zaradi načrtovanih aktivnosti,
- določitev kolektivne doze za zaposlene v okviru enoletnih načrtovanih aktivnosti,
- ocena učinkovite doze na predstavnika prebivalstva zaradi zunanjega obsevanja med normalnim obratovanjem, ki upošteva doze zaradi razpršenih fotonov (sky shine) iz

nezaprtega – nepokritega silosa, KPE med transportom na lokaciji odlagališča in rokovanjem na lokaciji odlagališča in odpadkov, ki bi bili lahko shranjeni v tehnološkem objektu,

- določitev učinkovite doze za posameznega zaposlenega v primeru scenarijev spremenjenega razvoja dogodka med obratovanjem odlagališča,
- določitev učinkovite doze za posameznega predstavnika prebivalstva v primeru scenarijev spremenjenega razvoja dogodka med obratovanjem odlagališča,
- določitev maksimalnih dovoljenih plinastih in tekočih izpustov iz odlagališča.

7.2.1.3 Splošen metodološki pristop pri varnostnih analizah za odlagališče med obratovanjem

Pri izdelavi varnostnih analiz je bila upoštevana metoda SADRWMS [23] (Safety Assessment Driven Radioactive Waste Management Solutions), ki je bila razvita iz ISAM [24] metodologije. Uporabljeno je bilo tudi orodje SAFRAN [25], ki je bilo razvito v okviru te metode.

Pri tem je bil izbran pristop, da se za izdelavo varnostnih analiz uporabi čim bolj realistične podatke (kjer so na voljo), če jih ni bilo na voljo so se uporabile konservativne ocene za njihovo določitev.

7.2.2 OPIS SISTEMA

Lokacija samega odlagališča je opisana v 4. poglavju tega osnVP, obratovanje pa je predstavljeno v 9. poglavju. V nadaljevanju tega poglavja podajamo samo osnovne informacije o odlagališču, ki so pomembne za pripravo varnostnih analiz.

7.2.2.1 Radioaktivni odpadki – inventar

Za izdelavo varnostnih analiz za fazo obratovanja odlagališča je bil v letu 2015 ponovno ovrednoten inventar [19]. Posodobljen inventar vključuje nova spoznanja in zmanjšanje določenih nezanesljivosti. V manjši meri se zaradi tega razlikuje od inventarja, ki je bil uporabljen za pripravo varnostnih analiz po zaprtju odlagališča. Razlika v inventarju pa ne vpliva bistveno na končne rezultate varnostnih analiz. V naslednji fazi (priprava Varnostnega poročila bo inventar še dodatno usklajen). V Sloveniji nastaja 6 osnovnih tokov NSRAO, ki so opredeljeni v poglavju 7.3.3.2 tega osnVP. med njimi so najbolj aktivni obratovalni odpadki iz NEK, ki so bili konzervativno upoštevani kot osnova pri oceni inventarja za varnostne analize v času obratovanja odlagališča. Izjemo lahko predstavljajo le nekateri odpadki iz razgradnje (reaktorska posoda ...) za katere bo metoda odlaganja in transporta opredeljena kasneje in upoštevana v prihodnjih varnostnih analizah, vendar se predpostavlja, da so analizirani primeri tako konzervativni, da zaobjamejo tudi te vrste odpadkov.

Na podlagi tega je bil za potrebe varnostnih analiz (obdobje obratovanja) privzet inventar, predstavljen v naslednji tabeli (Tabela 7-1).

Vrednosti v stolpcih A in B predstavljajo povprečno skupno aktivnost posameznih radionuklidov za vse pakete in vse tokove odpadkov iz obratovanja NEK, kjer vrednost A predstavlja skupno aktivnost 99 KPE (v vsaki so odloženi 4 TTC ji ali 12 standardnih sodov ali ustrezna kombinacija TTC jev in sodov), kar predstavlja en sloj odpadkov odloženih v silosu. Vrednost B ustreza povprečni radioaktivnosti 1 TTC ja oz. 3 standardnih sodov. Vrednosti v stolpcu C predstavljajo skupno aktivnost posameznega radionuklida v najbolj »vročem« TTC ju tipa 2, iz baze NEK (tok odpadkov PRH2).

Vrednosti v stolpcu D predstavljajo skupno aktivnost posameznih radionuklidov v KPE ob predpostavki, da je v njej 1 najbolj »vroč« TTC, z aktivnostjo predstavljeno v stolpcu C in 3 TTC ji z aktivnostjo predstavljeno v stolpcu B.

Vrednosti v stolpcu E predstavljajo skupno aktivnost (povprečje vseh bolj aktivnih – »vročih« odpadkov iz baze NEK) za posamezne radionuklide v 1 »vročem« TTC ju.

Izotop	Aktivnost [Bq]				
	A	B	C	D	E
Ag-108m	2.02E+08	5.11E+05		1.53E+06	
Ag-110m	7.23E+10	1.83E+08		5.48E+08	9.81E+08
Am-241	4.07E+08	1.03E+06	6.49E+07	6.80E+07	3.23E+07
Ba-140	3.64E+06	9.19E+03		2.76E+04	
Ce-141	3.58E+09	9.04E+06		2.71E+07	1.04E+11
Ce-144	2.45E+07	6.19E+04		1.86E+05	
Cm-242	3.73E+07	9.41E+04	5.94E+06	6.22E+06	1.86E+06
Cm-244	9.66E+08	2.44E+06	1.49E+08	1.56E+08	7.27E+07
Co-57	2.27E+12	5.74E+09		1.72E+10	7.46E+09
Co-58	2.47E+12	6.25E+09	2.11E+11	2.29E+11	9.00E+10
Co-60	3.85E+12	9.72E+09	5.52E+11	5.81E+11	1.09E+11
Cr-51	6.54E+09	1.65E+07		4.95E+07	
Cs-134	7.57E+11	1.91E+09	1.32E+11	1.37E+11	2.05E+10
Cs-137	2.36E+12	5.97E+09	3.98E+11	4.16E+11	1.96E+11
Fe-59	4.77E+11	1.21E+09		3.62E+09	1.67E+08
I-131	2.15E+06	5.42E+03		1.63E+04	
Mn-54	1.04E+11	2.63E+08	7.09E+10	7.17E+10	1.27E+10
Nb-94	1.17E+08	2.95E+05		8.85E+05	
Nb-95	1.27E+13	3.21E+10		9.64E+10	1.16E+09
Pu-238	1.82E+09	4.60E+06	2.97E+08	3.10E+08	1.47E+08
Pu-239	3.43E+08	8.66E+05	5.58E+07	5.83E+07	2.77E+07

Izotop	Aktivnost [Bq]				
	A	B	C	D	E
Ru-103	1.46E+07	3.68E+04		1.10E+05	5.30E+08
Ru-106	3.68E+11	9.29E+08		2.79E+09	
Sb-124	1.59E+08	4.01E+05		1.20E+06	
Sb-125	3.36E+10	8.48E+07		2.54E+08	5.69E+09
Sn-113	2.19E+11	5.52E+08		1.66E+09	8.28E+08
Te-132	4.97E+07	1.25E+05	2.95E+08	2.95E+08	2.95E+08
Zn-65	4.02E+08	1.02E+06		3.05E+06	
Zr-95	1.15E+12	2.89E+09		8.68E+09	1.66E+09

Tabela 7-1: Izotopska sestava in aktivnost za posamezne radionuklide uporabljena pri varnostnih analizah, za obdobje obratovanja odlagališča

Izotopska sestava iz stolpca A je bila uporabljena za ovrednotenje vpliva različnih plasti odpadkov v silosu na direktno izpostavljenost delavcev v silosu in hali nad silosom ter predstavnika prebivalstva.

Izotopska sestava iz stolpcev B, C in D je bila uporabljena za ovrednotenje vpliva KPE na zunanjo izpostavljenost delavcev, ki delajo na odlagališču in izračun zunanje izpostavljenosti predstavnika prebivalstva zaradi KPE, ki se jo odlaga v silos oz. je ena »poškodovana« KPE skladiščena v tehnološkem objektu.

Izotopska sestava iz stolpcev B in E je bila uporabljena za ovrednotenje vpliva KPE na zunanje obsevanje predstavnika prebivalstva zaradi transporta KPE znotraj lokacije odlagališča NSRAO.

Za potrebe izračunov scenarijev nesreč – nenormalnega obratovanja odlagališča je bila definirana »povprečna« in »vroča« KPE podobno, kot za scenarij normalnega obratovanja. Ker, v primeru scenarijev nesreč – nenormalnega obratovanja odlagališča, pride še do drugih poti obsevanja – poleg direktne izpostavljenosti še npr. inhalacija, ingestija..., so bili v varnostne analize vključeni še nekateri radionuklidi iz ocenjenega inventarja [19]. Ti so bili povzeti po meritvah iz baze NEK (31.12.2015), za tiste, ki pa niso bili izmerjeni, so bili uporabljeni korelacijski faktorji [19] na izmerjene vrednosti Co-60, Cs-137 in Pu-239, ki jih merijo v NEK (pri tem njihov radioaktivni razpad ni bil upoštevan). Za vse v bazi NEK izmerjene in za varnostne analize uporabljene podatke o aktivnostih posameznih radionuklidov je bil upoštevan radioaktivni razpad do leta 2014. Na podlagi podatkov iz baze NEK je bila opravljena tudi projekcija nastanka radioaktivnih odpadkov oz. posameznih radionuklidov v prihodnosti. Na podlagi teh podatkov je bila določena izotopska sestava »povprečne« KPE in vsebuje 4 »povprečne« TTC je (stolpec 3 v tabeli (Tabela 7-2) kar je enako 4 krat stolpcev 2 v isti tabeli) oz. njihov ekvivalent v standardnih sodih in »vroče« KPE, ki jo sestavljajo en »vroč« TTC (stolpec E v tabeli Tabela 7-1) in trije »povprečni« TTC ji (stolpec 2 v tabeli Tabela 7-2

oz. ekvivalenti v standardnih sodih. Izotopska sestava za posamezne radionuklide za scenarije nesreč – nenormalnega obratovanja, je predstavljena v spodnji tabeli (Tabela 7-2).

Izotop	Aktivnost »povprečnega« TTCja [Bq]	Aktivnost povprečne KPE [Bq]	Aktivnost »vroče« KPE, ki vsebuje 1 TTC z odpadki PRH2T2 [Bq]
	2	3	4
H-3	2.27E+05	9.08E+05	1.16E+07
Ag-108m	5.10E+02	2.04E+03	1.53E+03
Ag-110m	8.67E+05	3.47E+06	9.84E+08
Am-241	1.42E+06	5.67E+06	3.65E+07
Ba-133	1.87E+04	7.49E+04	1.15E+06
Ba-140	1.22E+01	4.90E+01	3.67E+01
C-14	6.07E+08	2.43E+09	1.05E+10
Ce-141	3.08E+05	1.23E+06	1.04E+11
Ce-144	2.45E+03	9.79E+03	7.34E+03
Cl-36	4.60E+03	1.84E+04	7.92E+04
Cm-242	3.38E+03	1.35E+04	1.87E+06
Cm-244	1.16E+06	4.63E+06	7.62E+07
Co-57	5.82E+05	2.33E+06	7.46E+09
Co-58	2.39E+07	9.58E+07	9.01E+10
Co-60	8.20E+08	3.28E+09	1.11E+11
Cr-51	1.24E+05	4.95E+05	3.71E+05
Cs-134	4.56E+07	1.82E+08	2.06E+10
Cs-135	8.41E+04	3.36E+05	2.21E+06
Cs-137	5.60E+09	2.24E+10	2.13E+11
Eu-152	2.24E+05	8.96E+05	1.44E+07

Izotop	Aktivnost »povprečnega« TTCja [Bq]	Aktivnost povprečne KPE [Bq]	Aktivnost »vroče« KPE, ki vsebuje 1 TTC z odpadki PRH2T2 [Bq]
	2	3	4
Eu-154	2.39E+08	9.54E+08	2.03E+10
Eu-155	1.06E+08	4.24E+08	1.40E+10
Fe-55	3.93E+08	1.57E+09	1.10E+11
Fe-59	7.54E+04	3.02E+05	1.67E+08
I-129	2.52E+04	1.01E+05	6.64E+05
I-131	3.37E+03	1.35E+04	1.01E+04
Mn-54	1.32E+07	5.38E+07	1.27E+10
Nb-94	2.28E+04	9.12E+04	6.84E+04
Nb-95	5.96E+05	2.39E+06	1.16E+09
Ni-59	2.30E+08	9.20E+08	3.96E+09
Ni-63	3.07E+10	1.23E+11	5.38E+11
Np-237	4.78E+03	1.91E+04	1.25E+05
Pd-107	8.41E+03	3.36E+04	2.21E+05
Pu-238	6.29E+06	2.52E+07	1.66E+08
Pu-239	1.19E+06	4.78E+06	3.13E+07
Pu-241	5.42E+07	2.17E+08	2.93E+09
Ru-103	1.00E+03	4.02E+03	5.30E+08
Ru-106	3.20E+03	1.28E+04	9.59E+03
Sb-124	6.46E+01	2.58E+02	1.94E+02
Sb-125	4.83E+06	1.93E+07	5.70E+09
Se-79	3.36E+04	1.35E+05	8.85E+05
Sm-151	2.52E+07	1.01E+08	6.64E+08
Sn-113	2.11E+03	8.43E+03	8.28E+08

Izotop	Aktivnost »povprečnega« TTCja [Bq]	Aktivnost povprečne KPE [Bq]	Aktivnost »vroče« KPE, ki vsebuje 1 TTC z odpadki PRH2T2 [Bq]
	2	3	4
Sr-90	4.52E+08	1.81E+09	2.10E+10
Tc-99	1.45E+07	5.79E+07	3.18E+08
Te-132	8.55E+01	3.42E+02	2.95E+08
U-234	1.19E+04	4.78E+04	3.13E+05
U-235	2.39E+02	9.55E+02	6.26E+03
U-238	4.78E+03	1.91E+04	1.25E+05
Zn-65	4.14E+11	1.65E+02	1.24E+02
Zr-95	2.60E+05	1.04E+06	1.66E+09

Tabela 7-2: Izotopska sestava TTC in KPE za scenarije nesreč – nenormalnega obratovanja

7.2.2.2 Strukture, sistemi in komponente

Strukture, sistemi in komponente odlagališča so podrobneje predstavljene v 6. poglavju tega osnVP. V nadaljevanju so prikazani samo ključni povzetki, ki so pomembni za izvedbo in razumevanje varnostnih analiz v času obratovanja odlagališča.

Skladno z IDZ [5] je v okviru varnostnih analiz (obratovanje odlagališča) predvideno, da bo na odlagališču zgrajen najprej 1 silos z možnostjo širitve – izgradnje drugega silosa v primeru uveljavitve scenarija SA.2. Če bo prišlo do izvedbe scenarija SA.3 se bo na odlagališču zgradil le 1 silos.

V okviru Investicijskega programa za odlagališče NSRAO [26] je bilo ugotovljeno, da sta scenarija SA.3 in SA.2 optimalni varianti odlaganja NSRAO v odlagališče. Pri tem so ključne značilnosti scenarijev:

- SA.3
 - na odlagališču se izvaja le odlaganje NSRAO, priprava na odlaganje se izvaja v NEK
 - v odlagališče bo odloženih polovica odpadkov iz NEK in vsi slovenski institucionalni odpadki – za odložitev teh odpadkov je potreben en silos
 - pri določanju količine odpadkov je bilo privzeto, da bo NEK obratoval do leta 2043
-
- SA.2

- Veljajo enake predpostavke, kot pri scenariju SA.3, le, da bo v odlagališče odložena tudi hrvaška polovica odpadkov – za odložitev vseh odpadkov sta potrebna dva silosa.

Zaradi tega je bilo odločeno, da je smiselno, da se izvede presoja vplivov na okolje, ki obravnava celotno količino odloženih odpadkov – to je dva silosa. V IDZ rev. C [5] je projektno obdelan scenarij SA.3, ki pa v študiji »Razvojne možnosti odlagališča, ki jih je potrebno upoštevati pri izdelavi PVO, ki je del IDZ obravnava izvedbo scenarija SA.2, to je odložitev vseh obratovalnih in dekomisijskih odpadkov iz NEK, ter vseh drugih slovenskih NSRAO. V tem primeru bosta na odlagališču zgrajena dva odlagalna silosa.

Varnostne analize so zato pripravljene za celoten inventar odpadkov, ki bo lahko odložen na lokaciji odlagališča NSRAO. Poleg odlagalne enote bo na lokaciji odlagališča tudi tehnološki objekt (2. faza – glej poglavje 9. Obratovanje tega osnVP), sistemi za monitoring, protipoplavni nasip in ostale zgradbe in sistemi – nepomembni za jedrsko in sevalno varnost.

V tehnološkem objektu bodo locirani:

- skladiščni prostor, kjer se bodo po potrebi lahko izvajala manjša dela za popravilo poškodovane KPE),
- vroča delavnica (kjer se bodo lahko izvajale dekontaminacijske aktivnosti),
- merilnica,
- kontrolna soba in še ostali za jedrsko in sevalno varnost manj pomembni prostori.

Kakor je predvideno v IDZ [5], bo v prvi fazi, začasno skladiščenje in odprava napak na poškodovani KPE izvajala v hali nad silosom. V ta namen se bo postavila začasna kabina s kontroliranim prezračevanjem. V drugi fazi se bo zgradil skladiščni prostor ob tehnološkem objektu.

Tehnološki objekt bo opremljen s prezračevalnim sistemom, ki bo imel glede na zahteve in aktivnosti v tehnološkem objektu dva režima obratovanja – normalni (večino časa) in tehnološki (v primeru izvajanja del). Predvideno je filtriranje zraka tako na vstopu kot izstopu za obe področji. Izpuh zraka iz radiološko nadzorovanega področja bo filtriran s filtri tipa M6 (z učinkovitostjo od 60% do 80 % pri delcih velikosti 0,4 μm) in HEPA13 filtri (z učinkovitostjo 99,95%). Sistem bo opremljen tudi z avtomatskim merilcem radioaktivnosti, ki bo v primeru zaznane povišanosti le te, zaprl lopute za dovod in odvod zraka in obvestil kontrolno sobo. V tej fazi bo izpuh na višini 10 m nad tlemi.

V tehnološkem objektu lahko pride tudi do nastanka industrijskih in komunalnih odpadnih vod, ki bi lahko bile potencialno kontaminirane (vode iz prostorov za dekontaminacijo, umivanje tal). Drenažni sistem bo nameščen tudi v odlagalnem silosu. Njegova naloga bo zbirati potencialno proniklo vodo in jo kontrolirano odvajati. Vse te odpadne vode bodo zajete, preverjene in v primeru, da ne bodo presegle koncentracij predpisanih aktivnosti izpuščene v javno kanalizacijo. Če pa bodo meje presežene bodo vode ustrezno obdelane v za to primernem obratu.

V tehnološkem objektu je locirana tudi vhodna izhodna točka s kontrolo kontaminacije in možnostjo dekontaminacije v primeru le te.

Odlagalni silos bo prekrit z nadstrešnico, katere glavna naloga je ščititi silos pred vremenskimi vplivi. Stopnišče, ki bo vodilo do dna silosa (dostop do zbiralnega jaška pod silosom) bo opremljeno z ventilacijskim sistemom za prezračevanje s kapaciteto 1000 m³/h. Sistem bo opremljen z loputami in avtomatskim merilnikom radioaktivnosti na izpuhu, ki se bodo zaprle v primeru izrednega dogodka.

Za odlaganje se bo uporabljala KPE, ki bo armirano betonski zabojnik, v katerega se bo lahko vstavilo 4 TTCje ali 12 standardnih (200 l, 300 l) sodov. Zabojnik bo skladno z zahtevami za prevoz nevarnih snovi (ADR) ustrezal zahtevam za industrijski tovorek IP – 2.

7.2.3 SCENARIJI MED OBRATOVANJEM ODLAGALIŠČA

Skladno z dokumentacijo projekta odlagališča NSRAO [5] in Projektnimi osnovami [27], ter skladno s pravilnikom JV 5 [21] so bili scenariji za pripravo varnostnih analiz razviti na podlagi dogodkov in stanj opisanih v nadaljevanju.

V okviru referenčne dokumentacije [28], [29] so bila evidentirana naslednja obratovalna stanja:

- Obratovalno stanje 1 – Sprejem in odlaganje NSRAO;
- Obratovalno stanje 2 – Pripravljenost na sprejem in odlaganje NSRAO;
- Obratovalno stanje 3 – Neodlagalna dela v območju silosa; in
- Obratovalno stanje 4 – Mirovanje.

V okviru zgoraj navedenih obratovalnih stanj lahko pride do naslednjih dogodkov:

- normalni obratovalni dogodki,
 - Sprejem (Na odlagališču se izvede sprejem odpadkov, ki vključuje vizualno kontrolo KPE, meritev sevanja na površini KPE, preverjanje dokumentacije),
 - Odlaganje (Ob izpolnjevanju vseh zahtev se nadaljuje odlaganje. Pri tem se KPE transportira do nadstrešnice in odlagalnega silosa), kjer se KPE odloži s portalnim žerjavom na v naprej določeno pozicijo v odlagalnem silosu,
 - Dreniranje (V silosu med vsemi zgoraj navedenimi obratovalnimi stanji deluje drenažni sistem, ki zajema in odvaja potencialno proniklo vodo),
 - V primeru scenarija SA. 3 po odložitvi slovenske polovice obratovalnih odpadkov nastopi faza mirovanja, ki predstavlja podfazo faze obratovanja – le da ni odlaganja KPE,
 - Zapolnitev praznin (Po zapolnitvi silosa in med obratovanjem, predvidoma, ko bosta odložena dva sloja odpadkov, se zapolni prazne prostore med zabojniki in steno silosa s polnilnim materialom. Na vrhu odlagalne enote se izvede betonska plošča).
 - Zapiranje (Nad tem se vgradi plast gline, ki predstavlja dodatno pregrado med silosom in kvartarnim vodonosnikom).
- pričakovani obratovalni dogodki (nenormalno obratovanje), ki bodo obvladovani preko internih pravilnikov in navodil in za katere je ocenjeno, da nimajo vpliva na jedrsko in sevalno varnost,
 - presežena avtorizirana mejna doza;
 - izguba zunanega električnega napajanja;
 - okvara vozila za prevoz NSRAO na območju odlagališča;
 - okvara dvigala nad silosom;
 - okvara črpališča v silosu in ob kontrolnem bazenu;
 - odpoved sistema za javljanje požara;
 - odpoved protipožarnega sistema;
 - odpoved sistema za evidentiranje podatkov o NSRAO;
 - odpoved naprav za merjenje izpustov in radiološki monitoring; in
 - zavrnitev pošiljke z NSRAO.

- izredni projektni dogodki in nesreče
 - požar,
 - padec zabojnika
 - padec letala (ki vključuje eksplozijo in požar),
 - teroristični napad
 - potres (po potresu sledi zaustavitev obratovanja in preveritev SSK)

Razvoj scenarijev za varnostne analize in uporabljeni modeli s posameznimi parametri v času obratovanja odlagališča so podrobneje opisani v poročilu varnostnih analiz [13]. V nadaljevanju tega poglavja pa je prikazan le povzetek.

V okviru Projektnih osnov za odlagališče [27] so bili skladno z mednarodnimi priporočili [23] določeni scenariji, ki pokrivajo stanja objektov, kot jih določa pravilnik JV5 [21], ti scenariji, so bili nato skladno s priporočili [23] preverjeni v okviru varnostnih analiz, kjer so bili ovrednoteni glede na priporočen IAEA spisek domnevnih začetnih dogodkov (PIE) [23]. Pri tem je bila uporabljena metoda inženirske presoje [13].

7.2.3.1 Scenarij normalnega razvoja dogodkov

Varnostne analize za čas obratovanja odlagališča zajema v primeru normalnega razvoja dogodkov zajemajo vsa stanja odlagališča kjer vsi SSKji delujejo tako kot je načrtovano.

Aktivnosti, ki bodo potekale na odlagališču v času normalnega obratovanja so opredeljene kot normalni obratovalni dogodki v poglavju 7.2.3:

Zgoraj naštetе aktivnosti so bile obravnavane v okviru varnostnih analiz kot scenarij normalnega razvoja dogodkov. Ocenjene so bile doze na zaposlene (individualne in kolektivne doze), ki bodo te dejavnosti izvajale, ravno tako je bil ocenjen vpliv na predstavnika prebivalstva [17]. Glede na mednarodno prakso je bil ocenjen vpliv na odraslega predstavnika prebivalstva, ki bi lahko bil glede na lastnosti odlagališča in scenarije najbolj izpostavljen predstavnik.

Med obratovanjem ni pričakovati, da bi nastajala večja količina plinov, predvsem zaradi tega ker ne bo prisotne proste vode in bodo odpadki v aerobnih pogojih. Kljub temu pa bo lahko prišlo do nekaj reakcij med posameznimi materiali, katerih produkti so lahko tudi plini. To so:

- korozija kovinskih materialov (korozija aluminija – nastaja vodik),
- razpad organskih materialov (razpad celuloze – nastaja ogljikov dioksid),
- radioliza (radioliza vode – nastaja vodik).

Pri tem je bilo predpostavljeno, da se bo nastali ogljikov dioksid, iz razpada celuloze, raztopil v vodi in sodeloval v reakciji karbonatizacije v alkalni (cement)orni vodi. Zato je predvideno da ogljikov dioksid ne bo prisoten v nastali mešanici plinov v silosu med obratovanjem. V okviru varnostnih analiz [30] je bilo ocenjeno tudi, da je količina nastalega plina zaradi vseh zgoraj naštetih reakcij majhna in zato v okviru obratovalne varnosti odlagališča ni bila upoštevana.

Iz scenarija in dogodkov opisanih zgoraj so bili razviti modeli, ki so predstavljeni v naslednjem poglavju.

7.2.3.2 Scenariji nesreč – nenormalnega obratovanja (projektne nesreče)

V okviru varnostnih analiz [13] je bila skladno z IAEA priporočili [23] analizirana lista predpostavljenih začetnih dogodkov. Na podlagi tega so bili evidentirani naslednji scenariji nesreč – nenormalnega obratovanja v času obratovanja odlagališča.

7.2.3.2.1 Scenarij padca zabojnika (ne velja za obratovalno stanje mirovanja)

KPE je načrtovana kot industrijski tovorek IP-2, kar pomeni, da mora v okviru preizkušanja za ugotavljanje sposobnosti prenašanja običajnih prevoznih pogojev glede na svojo maso prestati prosti padec z višine 30 cm.. Pri ravnanju s KPE v okviru odlagališča NSRAO bo možnost padca KPE tudi z večje višine. V okviru varnostnih analiz [17] je bilo ocenjeno, da je verjetnost, da pride do tega dogodka zelo majhna, vendar je bil vpliv takega dogodka kljub temu ocenjen in ovrednoten.

V okviru varnostnih so bili ovrednoteni naslednji možni podscenariji padca KPE:

- Do padca KPE lahko pride v hali nad silosom ali v tehnološkem objektu. Za oba objekta je bilo ocenjeno, da je maksimalna možna višina padca v obeh objektih 9 m. Volumen hale nad silosom je večji od volumna skladiščnega prostora tehnološkega objekta, zato bi v primeru padca prišlo do večje koncentracije (ob enakih izpustih radioaktivnih snovi) in posledično do večje obremenjenosti zaposlenih v tem prostoru. Zato je bilo privzeto, da se obravnava padec KPE z višine 9 m v tehnološkem objektu. Pri tem je bilo privzeto, da se pri padcu stene tehnološkega objekta ne poškodujejo in pride do izpustov zaradi okvare prezračevalnega sistema, to je na višini 10 m.
- Do padca KPE lahko pride pri odlaganju – spuščanju KPE v silos. Pri tem sta bila kot najbolj konzervativna (v smislu radiološkega vpliva) ocenjena in upoštevana dva podscenarija:
 - o Padec KPE z višine 50 m na že odloženo plast zabojnikov prekrito z izravnalno plastjo debeline 10 cm, padec predstavlja tudi padec zabojnika na dno silosa še brez odloženih odpadkov. Ocenjeno je bilo [17], da so radiološke posledice v tem primeru največje, tako na zaposlene kot predstavnika prebivalcev. Ravno tako je bilo ocenjeno, da v primeru padca na plast betona pride do večje razpršitve (KPE lahko razpade na več delcev, ti pa imajo večjo površino – celotno površino silosa, za razpršitev) kot v primeru padca KPE na že odložene KPE (v tem primeru pride sicer do poškodbe več KPE, vendar pri tem pride do manjših poškodb in do manjše razpršitve delcev).
 - o Padec KPE z višine 35 m na peto plast odloženih odpadkov, prekritih z 10 cm izravnalnega betona.

KPE bodo na območje odlagališča pripeljane pripravljene na odlaganje. Ker transport do odlagališča ni del tega Varnostnega poročila, je bilo ocenjeno, da je zaradi zelo kratkih razdalj na odlagališču in zelo malo prometa, scenarij prometne nesreče in padca zabojnika med transportom po odlagališču zelo malo verjeten in zato ni bil obravnavan. Transport odpadkov bo potekal v KPE, ki bo opravila preizkuse, s katerimi se bo dokazala sposobnost prenašanja običajnih prevoznih pogojev in bo certificirana kot IP-2 zabojnik [31]. Ob izpolnjevanju zahtev za tovorke vrste IP-2 se dovoljuje transport radioaktivnih snovi – v takih zabojnikih, po javnih cestah, brez dodatnih analiz in varnostnih ocen.

Za izračun zgoraj naštetih treh scenarijev sta bili uporabljeni »povprečna« in »vroča« KPE in inventar, kot je opredeljeno v 7.2.2.1 poglavju tega osnVP. Pri tem so bili uporabljeni faktorji

raztrosa in ostali podatki potrebni za oceno vpliva, iz literature, ki obravnava padec podobnega kontejnerja (WAGR kontejner je bil razvit v Veliki Britaniji za namen odložitve odpadkov iz razgradnje Windscale Advanced Gas-Cooled Reactor ja, kontejner je podobnih dimenzij kot N2bV) [32], [33], [34], [35]. WAGR kontejner je bil glede faktorja raztrosa testiran za padec z višine 7 m, nato pa so bili na podlagi rezultatov padca modelirani in ocenjeni faktorji raztrosa tudi za ostale višine. Skladno z zgoraj navedenimi referencami so bili ocenjeni tudi v spodnji tabeli navedeni faktorji raztrosa.

Višina padca [m]	Faktor raztrosa, za oceno inhalacije in zunanje obsevanosti
9	0,0003
35	0,001
50	0,0015

Tabela 7-3: Faktorji raztrosa uporabljeni za scenarij padca KPE z različnih višin

V okviru varnostnih analiz so bile za scenarij padca KPE ocenjene doze na zaposlene zaradi zunanjega obsevanja in inhalacije s konzervativno predpostavko, da ne pride do izpustov v okolje – vsi delci ostanejo v objektu. Vpliv na predstavnika prebivalstva je bil ocenjen za primer, da določen del izpustov pobegne skozi nezaprte lopute ventilacijskega sistema v tehnološkem objektu. Pri tem pride do inhalacije, resuspenzije, talnega odboja in zunanje obsevanosti. Vpliv je bil ocenjen za različne oddaljenosti od odlagališča, ter za različne vremenske pogoje. V primeru padca KPE v silos je bilo predpostavljeno, da ne bo prišlo do izpustov v okolje (ventilacijski sistem dostopnega jaška se zapre v primeru povišane aktivnosti v silosu, oz. bo zaprt med odlaganjem KPE).

7.2.3.2.2 Scenarij požara

Za scenarij požara je bilo v okviru varnostnih analiz [17] ocenjen vpliv požara do katerega lahko pride v tehnološkem objektu ali v hali nad silosom, vendar je bil zaradi manjšega volumna skladišča v tehnološkem objektu, konzervativno privzet požar le v tehnološkem objektu, saj je v tem primeru vpliv na zaposlene večji. Predpostavljeno je bilo, da požar traja 1 uro, pri tem pa je v požar vključena ali ena »povprečna« KPE ali ena »vroča« KPE.

Pri tem so bile upoštevane lastnosti zabojnika povzete po raziskavah in preizkusih za zabojnik WAGR, ki je predstavljen v prejšnjem poglavju [32], [33], [34], [35]. Za vrednosti deležev sproščenih zaradi požara, za posamezne radionuklide so bile privzete vrednosti prikazane v spodnji tabeli (Tabela 7-4), ki so bile povzete po študiji [32] za požar, ki traja eno uro pri 1000 °C .

Radionuklidi	Deleži sproščeni zaradi požara
C, Cl, H, I, Se	1
Cs, Sb, Sn, Tc, Te, Ag, Ba, Ru, Zn	7E-04
Co, Cr, Eu, Fe, Mn, Ni, Pd, Sr, U	6E-05
Am, Ce, Cm, Np, Pu, Zr, Nb	3E-05

Tabela 7-4: Deleži posameznih radionuklidov sproščeni v zrak zaradi požara

V okviru scenarija so bili ocenjeni vpliv na zaposlene zaradi direktne izpostavljenosti, inhalacije in zunanje obsevanosti, ter na predstavnike prebivalstva zaradi inhalacije in zunanje obsevanosti. Vplivi so bili ocenjeni za različne oddaljenosti od odlagališča in različne vremenske pogoje.

7.2.3.2.3 Scenarij terorističnega napada

Scenarij terorističnega napada je prepoznan kot občutljiv z vidika fizičnega varovanja zato so v Osnutku varnostnega poročila povzeti le neobčutljivi podatki, v celoti je scenarij podan v dokumentu, ki je označen z oznako INTERNO [36]. Za scenarij terorističnega napada na odlagališče je bilo v okviru varnostnih analiz predpostavljeno [17], da teroristi postavijo večjo količino eksploziva v objekt, kjer je shranjena »povprečna« KPE ali ena »vroča« KPE. Vpliv na predstavnike prebivalstva in zaposlene je bil ocenjen zaradi inhalacije, in zunanje obsevanosti za različne razdalje, čase izpostavljenosti in hitrosti dihanja.

7.2.3.2.4 Scenarij padca letala

V prvi fazi priprave varnostnih analiz [13] je bilo predpostavljeno, da letalo pade na tehnološki objekt v katerem se pripravljajo odpadki na odlaganje. Ker je bilo v času optimizacije projekta [15] odločeno, da se bo priprava na odlaganje izvajala v NEK, je v tej fazi varnostnih analiz [17] predpostavljeno, da pride do padca letala na silos v času, ko je silos popolnoma poln, vendar še ni zaprt, po padcu pa sledi še požar zaradi goriva v letalu. Predpostavljeno je bilo, da pride do padca vojaškega letala z maso 30 t in hitrostjo 150 m/s. Pri tem naj bi prišlo do hude poškodbe nadstrešnice in zaradi tega sproščena radioaktivnost zaradi padca v celoti preide v atmosfero. Po trku pride zaradi goriva v letalu (20 ton) do požara, ki traja 1 uro. Za vir radioaktivnosti pri padcu letala je bilo upoštevano, da je v vrhnji plasti odloženih 99 »povprečnih« KPE, kot je opredeljeno v poglavju 7.2.2.1 tega osnVP. Predvideno je bilo, da ob trku niso bile poškodovane vse KPE. Za primer trka je bilo privzeto, da pride do poškodbe ene KPE, zaradi požara, ki pri tem nastane pa zgorejo 3 KPE. S pomočjo programskega orodja HOTSPOT so bile ocenjene učinkovite doze zaradi eksplozije in požara, zaradi zunanje obsevanosti, inhalacije, resuspenzije in talnega odboja, v različnih vremenskih pogojih, za zaposlene in predstavnike prebivalstva. Ocenjeno je bilo, da pride do različnih poškodb KPE zaradi eksplozije in zaradi požara. Zato so bile privzeti različni faktorji izpusta za eksplozijo in za požar.

7.2.4 MODELI

Konceptualni in matematični modeli za oceno scenarijev, podanih v prejšnjem poglavju tega osnVP so podrobno predstavljeni v 3. poglavju poročila o varnostnih analizah iz leta 2012 [37] in 5. poglavju poročila o varnostnih analizah iz leta 2016 [17]. V tem poglavju Osnutka varnostnega poročila so modeli predstavljeni na nivoju razumevanja varnostnih analiz kot celote.

7.2.4.1 Zunanje obsevanje

Za oceno doze zaradi zunanje izpostavljenosti je bilo za scenarij normalnega razvoja dogodkov, tako za zaposlene kot predstavnike prebivalstva, uporabljeno programsko orodje MICROSIELD in MICROSKEYSHINE. Ta omogoča modeliranje virov – odpadkov različnih oblik in sestav. V okviru varnostnih analiz so bili tako modelirani odpadki vstavljeni v TTC je in nato v KPE, med internim prevozom po odlagališču, odlaganjem v silos in potem, ko bodo odloženi v odlagalno enoto – silos. Pri modeliranju je bilo upoštevano, da so odpadki homogeni, upoštevan pa je bil tudi »build up« efekt, to je doprinos k sevanju zaradi sipanja fotonov.

V vseh modelih je bila za odpadke (vire) upoštevan približek, da so cilindrične oblike, sestavljeni iz homogene mešanice materialov:

- betona (KPE, polnilni material v KPE in v silosu),
- kovine (sodi in TTC ji),
- odpadki

Delež posameznega materiala v mešanici materialov je bil izračunan na podlagi volumnov posameznih materialov v eni plasti odpadkov.

Za ovrednotenje doprinosov v silosu odloženih odpadkov k s kupni dozi na ograji odlagališča zaradi sipanja v zraku (skyshine efekt) je bil uporabljen analitični pristop, ki je bil verificiran s pomočjo programskega paketa MICROSKYSHINE.

Za primer transporta odpadkov je bil za obliko odpadkov privzet kvader (kocka) z vstavljenimi odpadki cilindrične oblike. Podroben opis geometrije in parametrov uporabljenih v modelu je v dodatku A poročila o varnostnih analizah [17].

7.2.4.2 Model nastajanja plinov

Količina plina nastalega med obratovanjem odlagališča je bila ocenjena na podlagi ocene nastajanja plina zaradi korozije aluminija. Model upošteva enotno in linearno korozijo, ter površino odloženega aluminija. Količina nastalega plina je ocenjena na podlagi enačbe (Enačba 7-1) hitrosti nastajanja plina pri standardnih pogojih [m³/leto] pri koroziji površine aluminija (konci posameznih kosov pri izračunih niso upoštevani).

$$\dot{V} = \frac{22.4 \rho x C A_{\text{metal}}}{M}$$

Enačba 7-1: Enačba količine nastalega plina zaradi korozije aluminija med obratovanjem odlagališča

Kjer oznake pomenijo:

C = hitrost korozije [m/leto] = 1E-03 m/leto za Al;

A_{metal} = površina kovine, ki lahko korodira [m²];

ρ = gostota kovine [kg/m³] = 2700 kg/m³ za Al;

M = atomska masa kovine [kg/kmole] = 27 za Al;

x = stohiometrični faktor [kmol plina na kmol kovine] = 1.5 za Al;

22.4 = volumen kmol plina pri standardnih pogojih, [m³].

Splošna predpostavka pri uporabi zgornje formule je, da imajo vse kovinske komponente ravninsko geometrijo in je površina kovine izražena z specifično površino kovine.

7.2.4.3 Model vpliva izpustov v zrak znotraj zgradb

Za oceno doze, ki bi jo prejeli zaposleni v zgradbah, če bi prišlo do izpustov v zrak je bilo predpostavljeno, da pride do trenutnega in popolnega mešanja. Prejete doze zaradi radioaktivnega materiala v zraku so bile ocenjene na podlagi sledeče formule (Enačba 7-2):

$$E_{inh} = \sum_j C_j * e_{inh,j} * t_{exp} * B,$$

Enačba 7-2: Enačba za oceno doze zaradi izpostavljenosti radioaktivnih izpustov v zrak:

Kjer oznake pomenijo:

C_j = koncentracija radionuklida »j« v zraku (Bq/m^3),

$e_{inh,j}$ = koeficient efektivne doze pridobljene zaradi vdihavanja radionuklida »j« s strani zaposlenega [Sv/Bq], v primeru zmerne absorpcije v kri in premerom delcev z mediano $5 \mu m$ [38],

t_{exp} = čas izpostavljenosti (h),

B = hitrost dihanja = $1,2 m^3/h$ [38].

Koncentracija »j« tega radionuklida je bila izračunana tako, da je bil izvor možne kontaminacije (opredeljen za posamezne scenarije v poglavju 7.2.3 tega osnVP) deljen z volumnom zraka razpoložljivega za disperzijo, za obravnavan scenarij.

V primeru scenarija padca KPE v silosu, je bilo predpostavljeno, da pride do takojšnje in homogene razširitve kontaminacije v zrak, ki je na razpolago v silosu in do višine 2 m nad silosom. Po nekem določenem času pa se kontaminacija razširi še po celotni hali nad silosom. Koncentracija kontaminacije v zraku je bila izračunana da je bil izpust razdeljen glede na volumen zraka v silosu V_s in volumen zraka v hali V_H . Pri tem je bilo upoštevano, da imamo v primeru padca KPE v silosu dva možna pod scenarija, padec iz 50. m in padec iz 35. m.

$V_{s,35} = 18848.3 m^3$ (padec iz 35 m);

$V_{s,50} = 26809.0 m^3$ (padec iz 50 m).

Tudi za volumen hale nad silosom sta bila upoštevana dve pod scenarija.

- Takoj po padcu pride do razširitve kontaminacije po hali, do višine 2 m nad silosom ($V_{H,i} = 1348.3 m^3$), kar velja za oceno vpliva izpustov na zaposlene, ki se v trenutku padca nahajajo v hali.
- Po določenem času se kontaminacija razširi po celotni hali nad silosom $V_{H,r} = 35593.7 m^3$, kar velja za oceno vpliva na delavce, ki pridejo v halo po dogodku, da sanirajo nastalo situacijo.

Ob zgornjih predpostavkah je bil tako ocenjen volumen zraka v katerem lahko pride do razširitve kontaminacije ob padcu zabojsnika:

- Za zaposlene, ki se nahajajo na robu silosa v trenutku padca $V_{i,35} = V_{s,35} + V_{H,i} = 20196.5 m^3$ za padec KPE iz 35 m in $V_{i,50} = V_{s,50} + V_{H,i} = 28157.5 m^3$ za padec iz 50 m,
- Za zaposlene, ki sodelujejo pri sanaciji padca KPE (v silosu, po padcu KPE) – $V_{r,35} = V_{s,35} + V_{H,r} = 55790.2 m^3$ za padec iz 35 m in, $V_{r,50} = V_{s,50} + V_{H,r} = 62402.7 m^3$ za padec iz 50 m.

Za scenarij padca KPE v tehnološkem objektu je bilo podobno predpostavljeno, da pride do trenutne in homogene razpršitve radioaktivnosti v zrak. Takoj po padcu pride do razširitve v obliki hemisfere s premerom 9 m, kolikor znaša višina tehnološkega objekta. Po nekem določenem času pride do razširitve radioaktivnosti po celotnem prostoru. Privzeti so bili naslednji volumni:

- $V_{i,TO} = 1526 m^3$

b) $V_{r,TO} = 5174.1 \text{ m}^3$

-

Čas izpostavljenosti zaposlenih je bil ocenjen na 10 min, za delavce prisotne v času padca in 30 min za delavce, ki sodelujejo pri sanaciji.

Poleg notranje izpostavljenosti zaradi inhalacije, pride pri scenariju padca KPE tudi do zunanje izpostavljenosti zaradi zunanje obsevanosti v oblaku kontaminacije, ki je bila upoštevana za delavce, ki sodelujejo pri sanaciji. Vpliv je bil ocenjen skladno z sledečo enačbo (Enačba 7-1).

$$E_{sub} = \sum_j C_j * e_{sub,j} * t_{exp},$$

Enačba 7-3: Enačba za izračun vpliva na zaposlene zaradi zunanje obsevanosti

Kjer oznake pomenijo:

C_j = koncentracija »j« tega radionuklida v zraku [Bq/m^3],

$e_{sub,j}$ = koeficient efektivne doze zaradi zračne zunanje obsevanosti [$\text{Sv/Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$], povzet po [39] in korigiran z vključitvijo ekvivalentne efektivne doze za kožo,

t_{exp} = čas izpostavljenosti [s].

7.2.4.4 Model vpliva izpustov v zrak izven zgradb

Za izračun izpustov v zrak izven zgradb, v primeru nesreč je bil uporabljen program HotSpot, ki je bil razvit v okviru ameriškega Urada za energijo (DoE) in predstavljen v poročilu v okviru varnostnih analiz [40].

HotSpot za oceno disperzije zračnih izpustov (radioaktivnosti) uporablja Gaussovo enačbo disperzije, ki se glasi:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \exp\left(-\frac{\lambda x}{u}\right) DF(x)$$

Enačba 7-4: Gaussova enačba disperzije

Kjer oznake pomenijo:

C = koncentracija v atmosferi integrirana v času [Bqs/m^3],

Q = vir izpustov [Bq],

λ = konstanta radioaktivnega razpada [s^{-1}],

x = razdalja vzdolžnega vetra [m],

y = razdalja prečnega vetra [m],

z = razdalja na vertikalni osi [m],

H = višina efektivnega izpusta [m],

σ_y = standardna deviacija integrirane razporeditve koncentracije v smeri prečnega vetra [m],

σ_z = standardna deviacija integrirane razporeditve koncentracije v vertikalni smeri [m],

u = povprečna hitrost vetra na višini efektivnega izpusta [m/s],

$DF[X]$ = faktor izčrpanosti oblaka onesnaženja.

Za izračun doz HotSpot uporablja metodologije priporočene s strani ICRP. Doza je bila ocenjena na različni razdaljah od odlagališča, v časovnih intervalih po 10 min na višini 1.5 m nad tlemi, kar predstavlja povprečno višino, na kateri poteka dihanje. Podrobnosti o algoritmihi, ki jih uporablja HotSpot so podane v poročilu o programskem orodju [41]. Podrobnosti o uporabljenih parametrih v modelu pa so predstavljanje v poročilu varnostnih analiz, v Dodatku B [17].

V oceno doz zaradi izpostavljenosti izpustu v zrak izven stavb so bili upoštevani: inhalacija, zunanja obsevanost, resuspenzija in talni odboj. Privzet je bil čas izpostavljenosti 1 dan, od začetka pojava izpusta. V programu je bil nato določen in izračunan izvor izpusta kot:

izvor, ki ga je mogoče vdihniti = $MAR \times DR \times LPF \times ARF \times RF$,

izvor, ki ga ni mogoče vdihniti = $MAR \times DR \times LPF \times ARF \times (1-RF)$

Kjer pomeni:

MARMaterial at Risk – celotna količina radionuklidov vključenih v scenarij izpusta

DRDamage Ratio – delež MAR, ki je direktno vključen v scenarij izpusta

LPF Leak Path Factor – delež MAR, v scenariju izpusta lahko zaobide sistem zadrževanja npr. filtre. V primeru ko ni sistem zadrževanje je $LPF = 1$.

ARF Airborne Release Fraction – delež MAR, ki v obliki aerosola lahko pride v atmosfero

RF Resprable Fraction – delež aerosoliziranega materiala, ki ga je mogoče vdihniti – aerodinamični premer delca mora biti manjši od 10 mikronov.

V analizi so bili nato uporabljeni meteorološki podatki (veter in sončno obsevanje). Uporabljene so bile najbolj pogoste atmosferske stabilnostne kategorije (določene na podlagi obsijanosti zemljine površine s soncem), ki predstavljajo:

- A zelo nestabilne atmosferske pogoje
- B zmerno nestabilne pogoje
- D nevtralne pogoje
- F razmeroma stabilne pogoje.

Za vsako kategorijo so bile določene tudi hitrosti vetra, ki so bile upoštevane:

- A – 0,1 m/s, 1 m/s
- B – 1 m/s, 2 m/s
- D – 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s

- F – 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s.

Vsak izračun pa je bil izveden enkrat brez padavin in drugič s padavinami 10 mm/h.

Vpliv je bil ocenjen in izračunan za različne oddaljenosti od vira izpusta. Doze so bile izračunane za 20 razdalj med 30 m in 80 km od lokacije. Privzeta vrednost višine receptorja je bila 1,5 m, ter hitrost dihanja $1 \text{ m}^3/\text{h}$ [42].

Podrobneje so algoritmi za oceno doze s pomočjo programa HotSpot predstavljeni v okviru poročila o programu [41].

7.2.4.5 Ovrednotenje DCF faktorjev za izračun efektivnih doz, ki jo lahko prejme posameznik v posamezni starostni skupini prebivalstva za odlagališče NSRAO v primeru nesreč

V okviru dokumenta Ovrednotenje DCF faktorjev [43] so bili analizirani faktorji za izračun doz, ki jih lahko prejme posameznik v posamezni starostni skupini za primer nesreč, ki se lahko zgodijo v odlagališču NSRAO. Ugotovljeno je bilo, da so v primeru inhalacije faktorji za izračun doz za dojenčke v povprečju lahko za posamezne radionuklide do 4 krat večji od faktorjev za odrasle osebe, vendar je hitrost dihanja pri dojenčkih skoraj 8 krat manjša od hitrosti dihanja odraslih oseb. Zato lahko zaključimo, da so ocenjene efektivne prejete doze za odrasle osebe reprezentativne za vse posameznike posameznih starostnih skupin.

V primeru zaužitja so faktorji za izračun doz za dojenčke v povprečju večji od faktorjev za odrasle za faktor 12. Vendar so doze, ki bi lahko prišle do človeka z ingestijo zelo nizke. Publikacije, ki predstavljajo osnovo za določitev faktorjev za izračun doz [38] pa ocenjujejo, da uporaba biokinetičnih parametrov za odrasle za izračun faktorjev za otroke precenijo ocenjeno dozo zaradi tega ker so hitrosti izločanja snovi v mladosti večje.

7.2.5 REZULTATI VARNOSTNIH ANALIZ V ČASU OBRATOVANJA

Rezultati varnostnih analiz v času obratovanja so podrobneje predstavljeni v poročilih varnostnih analiz o obratovalni varnosti in dodatkih A in B tega poročila [17]. V nadaljevanju so povzeti vsi glavni rezultati, ki dokazujejo varnost obratovanja načrtovanega odlagališča NSRAO.

Pri oceni in izračunu doz na posamezne skupine ljudi (delavce in predstavnike prebivalstva) so bile privzete naslednje predpostavke:

- Izotopska sestava in aktivnost specifičnih radionuklidov, ki so bili uporabljeni za izračun doz je bila ocenjena za »vroč« TTC ali KPE na podlagi paketa št. 15798 iz baze NEK, to so iztrošene, smole ionskih izmenjevalnikov. »Povprečni« paket pa je bil definiran, kot povprečje paketov.
- Maksimalno število letno odloženih KPE je 200.
- Predvideno je, da se odlaga odpadke 5 let po njihovem nastanku, opravljeni pa so bili tudi izračuni za sveže odpadke in 10 let stare odpadke.

- Osnovni radioaktivni material, ki je bil uporabljen za modeliranje so bile smole ionskih izmenjevalnikov (največja aktivnost ob najmanjši gostoti – 0,8 g/cm³, to pomeni najmanjšo lastno absorpcijo radioaktivnosti).
- Radioaktivnost je povsod modelirana kot homogena.
- Pri oceni doze je upoštevan »build up« efekt.

7.2.5.1 Ocena doze za zaposlene pri scenariju normalnega razvoja dogodkov

Seznam in obseg dejavnosti, ki se bodo izvajale na odlagališču so opredeljene v naslednji tabeli (Tabela 7-5) :

Št. del. mesta	Delovno mesto	Izvajalec (število)	Dejavnost	Trajanje (ur/zabojnik)
1	Vhod na odlagališče – recepcija v okviru USO	V	Sprejem in pregled prevozne dokumentacije v recepciji (oddaljenost 10 m od vozila)	0.10
		V	Varnostni pregled vodila (oddaljenost 1 m od vozila)	0.05
2	Vhodna kontrolna točka – vstop na RNO	R	Merjenje kontaminacije in hitrosti doze pripeljanega vozila in tovora	0.10
3	Ploščad v hali	L / O	Vlaganje odlagalnih zabojnikov v odlagalne silose;	
			<ul style="list-style-type: none"> • odstranjevanje pritrditve zabojnika na vozilo na razdalji 1 m; • spremljanje razkladanja zabojnika na razdalji 10 m 	0.15 0.05
3	Odlagalni silos	O	Spremljanje in nadzor polnjenje praznin med zabojniki in izdelava izravnalne plasti (na vsaka dva odložena sloja – 198 zabojnikov) z vrha silosa oziroma s ploščadi v hali	0.18
		Z	Polnjenje praznin med zabojniki in izdelava izravnalne plasti z vrhnje ploskve odloženih zabojnikov	0.10
		O	Spremljanje in usmerjanje nameščanja drenažnih cevi na vsaka dva odložena sloja (z vrha silosa)	0.10
		Z	Nameščanje drenažnih cevi	0.40

Tabela 7-5: Seznam in obseg dejavnosti na odlagališču NSRAO, povzeto po IDZ [5]

Oznake izvajalcev v razpredelnici pomenijo:

- V – varnostnik - receptor
- O – operater
- L – logistik
- R – radiolog (izvajanje vhodne in izhodne radiološke karakterizacije ter drugih radioloških meritev in analiz) ter
- Z – zunanji izvajalec gradbenih del.

Na podlagi zgornje tabele (Tabela 7-5) in ostalih predpostavk in modelov predstavljenih v prejšnjih poglavjih tega osnVP so bile ocenjene konservativne (lahko bi rekli tudi maksimalne) doze na zaposlene. Za vsa delovna mesta, razen za zunanje izvajalce gradbenih del je bilo konzervativno predvideno, da bo delo opravil samo en zaposleni, kljub temu, da je za posamezno delo predvidenih več zaposlenih. Rezultati tako prikazujejo maksimalno prejeta dozo v enem letu – pri odložitvi 200 zabojnikov. Rezultati so predstavljeni v spodnji tabeli (Tabela 7-6).

Izvajalec	Max. totalna individualna doza na leto, [mSv/leto]	Max. totalna doza na leto na dejavnost, [mSv/leto]
varnostnik - receptor	2.7	2.7
radiolog	3.3	3.3
operator	7.7	7.7
logistik	7.7	7.7
zunanji izvajalec gradbenih del (predvidenih več delavcev)	0.07	0.2
TOTAL		21.6 človek mSv/leto

Tabela 7-6: Ocena doz na zaposlene

7.2.5.2 Ocena doze na prebivalstvo pri scenariju normalnega razvoja dogodkov

Na podlagi predpostavk in modelov predstavljenih v prejšnjih poglavjih tega osnVP so bile ocenjene konservativne (lahko bi rekli tudi maksimalne) doze na predstavnike prebivalstva med obratovanjem odlagališča NSRAO. Upoštevan je bil doprinos doze zaradi zunanjega obsevanja in razpršenih fotonov.

Pri tem so bile upoštevane naslednje predpostavke:

- silos je zapolnjen z odpadki – vseh 10 plasti,
- praznine med odloženimi KPE so zapolnjene, ni pa izvedene nobene izravnalne plasti,
- predstavnik prebivalstva bo preživel 2016 ur ob ograji odlagališča.

Izračun doze na prebivalca na ograji odlagališča NSRAO ob zgornjih konzervativnih predpostavkah je bil izveden za tri različne opcije odloženih odpadkov: sveže odpadke, odpadke, ki so bili v skladišču 5 let, odpadke, ki so bili v skladišču 10 let. Rezultati izračunov so prikazani v spodnji tabeli (Tabela 7-7).

»starost« odpadkov [let]	doza [mSv/leto]
0	0.011
5	0.005
10	0.003

Tabela 7-7: Izračunana doza na prebivalca na ograji odlagališča pri odlaganju različno »starih« odpadkov

Ocenjen doprinos doze zaradi razpršenih fotonov je bil 0,3 pSv/leto in ga lahko smatramo kot zanemarljivega.

7.2.5.3 Ocena doze pri padcu KPE v tehnološkem objektu

Za primer padca KPE v tehnološkem objektu, sta bili, glede vpliva na zaposlene, obravnavani dve situaciji:

- Izpostavljenost zaposlenih takoj po padcu KPE. Predpostavljena je bila izpostavljenost za 10 min, v tem času se zaposleni umaknejo iz tehnološkega objekta.
- Po nekem določenem času, ko pride že do popolne razširitve kontaminacije po celotnem prostoru, kjer pride do padca, zaposleni vstopijo v prostor, da poskrbijo za nujno prvo sanacijo nastalega dogodka. V tem primeru izpostavljenost traja 30 min.

Predpostavljeno je bilo, da v primeru padca KPE razpade na tri dele in na podlagi tega je bila ocenjena direktna izpostavljenost delavcev na različnih razdaljah od KPE (od 0,5 m do 2 m). Ocenjene doze na zaposlene so predstavljene v naslednji tabeli (Tabela 7-8):

Kratek opis situacije ob padcu KPE v tehnološkem objektu	Povprečna ocenjena doza na zaposlenega (za analizirane situacije oddaljenosti od 0,5 m do 2 m) [μ Sv/dogodek]	Maksimalna ocenjena doza na zaposlenega (glede na analizirane situacije) [μ Sv/dogodek]
10 min izpostavljenosti, v neposredni bližini razpadle »povprečne« KPE, glavni doprinos je inhalacija	79,2	94,4
10 min izpostavljenosti, v neposredni bližini razpadle »vroče« KPE,	979	1 380
30 min izpostavljenosti, popolna razširitev kontaminacije, »povprečna« KPE	100	1 650
30 min izpostavljenosti, popolna razširitev kontaminacije, »vroča« KPE	146	2 840

Tabela 7-8: Ocena doze na zaposlene pri padcu KPE v tehnološkem objektu

V okviru scenarija padca KPE je bila konservativno ocenjena tudi doza na predstavnika prebivalstva. Za vse primere je bilo privzeto, da je predstavnik prebivalstva izpostavljen oblaku

kontaminacije 1 dan. Ocenjene doze na predstavnika prebivalstva so predstavljene v naslednji tabeli (Tabela 7-9):

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob padcu KPE v tehnološkem objektu	Ocenjena doza na predstavnika prebivalstva [$\mu\text{Sv}/\text{dogodek}$] (čas izpostavljenosti 1 dan)	
Oddaljenost od tehnološkega objekta [m]	100	1000
Prezračevalni sistem deluje z učinkovitostjo 99,95%, »povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 3 m/s, padavine 10 mm/h)	0,0036	0,0002
Prezračevalni sistem deluje z učinkovitostjo 99,95%, »vroča« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 3 m/s, padavine 10 mm/h)	0,032	0,0014
Prezračevalni sistem ne deluje, celotna kontaminacija uide iz objekta, »povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 3 m/s, padavine 10 mm/h)	4,8	0,2

Tabela 7-9: Ocenjena doza na predstavnika prebivalstva pri padcu KPE v tehnološkem objektu

Iz zgornjih rezultatov je razvidno, da so vplivi padca KPE v tehnološkem objektu sprejemljivi, to je pod dovoljenimi obremenitvami. V primeru ocenjenega vpliva na predstavnika prebivalstva so ocenjene doze manjše od doz prejetih zaradi naravnega ozadja, za vse ocenjene situacije.

Pri oceni doze na zaposlene v primeru padca KPE v tehnološkem objektu, vidimo, da so doze odvisne predvsem od časa izpostavljenosti in oddaljenosti od vira sevanja. Prejete doze so ocenjene zelo konzervativno in jih je mogoče zelo zmanjšati npr. z ustrezno uporabo zaščitnih sredstev, ustreznih postopkov ipd.

7.2.5.4 Ocena doze pri padcu KPE v silos

Rezultati ocene doze pri padcu KPE v silos so predstavljeni v spodnji tabeli (Tabela 7-10):

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob padcu KPE v silos	Ocena doze na zaposlenega [$\mu\text{Sv}/\text{padec}$]	
Višina padca [m]	35	50
Delavec se po padcu zadržuje 10 min ob robu silosa, »povprečna« KPE	16,7	17,8
Delavec se po padcu zadržuje 10 min ob robu silosa, »vroča« KPE	161	169

Tabela 7-10: Ocena doze na zaposlenega takoj po padcu KPE v silos

Glavni doprinos k dozi pri padcu KPE v silos je inhalacija, ta je za 100 višji od direktne izpostavljenosti poškodovani KPE. Doza zaradi že odloženih odpadkov pa je še veliko (3 rede velikosti) nižja od te.

Ocenjena doza, ki jo dobijo zaposleni, ko po določenem času sanirajo nastalo situacijo (ko se celotna kontaminacija pomeša z razpoložljivim zrakom v silosu in hali nad silosom) je predstavljena v naslednji tabeli (Tabela 7-11). Pri tem je privzeto, da je delavec na svoji poziciji, kjer opravlja sanacijo 30 min.

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob padcu KPE v silos	Ocena doze na zaposlenega [μ Sv/padec]	
Višina padca [m]	35	50
Delavec se po nekem določenem času zadržuje 30 min na robu plasti odloženih odpadkov, »povprečna« KPE	34,6	40,7
Delavec se po nekem določenem času zadržuje 30 min na vrhu plasti odloženih odpadkov, »povprečna« KPE	52,1	58,2
Delavec se po nekem določenem času zadržuje 30 min na robu plasti odloženih odpadkov, »vroča« KPE	580	640
Delavec se po nekem določenem času zadržuje 30 min na vrhu plasti odloženih odpadkov, »vroča« KPE	1 002	1 007

Tabela 7-11: Ocena doze na zaposlenega ob sanaciji padca KPE v silos

V tem primeru sta ključna doprinosa k dozi za zaposlenega direktna izpostavljenost in inhalacija.

Ocenjene doze so za vse analizirane primere padca KPE v silos nižje od omejitve 20 mSv.

7.2.5.5 Ocena doze pri scenariju požara v tehnološkem objektu

Rezultati ocene doze pri požaru v tehnološkem objektu v katerem je vključena KPE so predstavljeni v naslednji tabeli (Tabela 7-12):

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob požaru v tehnološkem objektu	Ocena doze na zaposlenega [μ Sv/dogodek]	
Oddaljenost od KPE udeležene v požaru [m]	0,5	2
Delavec se ob požaru zadržuje 10 min na opredeljeni oddaljenosti od »povprečne« KPE	36,2	28
Delavec se ob požaru zadržuje 10 min na opredeljeni oddaljenosti od »vroče« KPE	562	349
Delavec se po požaru (celotna kontaminacija se razporedi po celotnem prostor) zadržuje 30 min na opredeljeni razdalji od »povprečne« KPE	58,7	34
Delavec se po požaru (celotna kontaminacija se razporedi po celotnem prostor) zadržuje 30 min na opredeljeni razdalji od »vroče« KPE	1 190	552

Tabela 7-12: Ocena doze na zaposlene pri scenariju požara v tehnološkem objektu

Ocenjene doze za predstavnika prebivalstva so predstavljene v tabeli spodaj (Tabela 7-13):

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob scenariju požara v tehnološkem objektu	Ocenjena doza na predstavnika prebivalstva [μ Sv/dogodek] (čas izpostavljenosti 1 dan)	
Oddaljenost od tehnološkega objekta [m]	100	1000
Prezračevalni sistem deluje z učinkovitostjo 99,95%, »povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 1 - 3 m/s, padavine 10 mm/h)	0,053	0,0023

Prezračevalni sistem deluje z učinkovitostjo 99,95%, »vroča« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 1 - 3 m/s, padavine 10 mm/h)	0,240	0,01
Prezračevalni sistem ne deluje, celotna kontaminacija uide iz objekta, »povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 3 m/s, padavine 10 mm/h)	100	4,6

Tabela 7-13: Ocena doze na predstavnika prebivalstva pri scenariju požara v tehnološkem objektu

7.2.5.6 Ocena doze pri scenariju terorističnega napada

Za primer scenarija terorističnega napada so v nadaljevanju predstavljeni le glavni rezultati. Več o scenariju in izračunih je v ločenem poročilu [36], ki je zaradi varnostnih razlogov označen kot INTERNO [36].

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob scenariju terorističnega napada	Ocenjena doza na predstavnika prebivalstva [μ Sv/dogodek] (čas izpostavljenosti 1 dan)	
Oddaljenost od tehnološkega objekta [m]	100	1000
»Povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 1 - 3 m/s, padavine 10 mm/h)	64	3
»Vročna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (veter 1 - 3 m/s, padavine 10 mm/h)	570	27

Tabela 7-14: Ocena doze na predstavnika prebivalstva pri scenariju terorističnega napada

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob scenariju terorističnega napada	Ocenjena doza na zaposlenega [μ Sv/dogodek] (čas izpostavljenosti 1 dan)
Oddaljenost od tehnološkega objekta [m]	30
»Povprečna« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji (brezvetrje, padavine 10 mm/h)	780

Tabela 7-15: Ocena doze za zaposlene pri scenariju terorističnega napada

7.2.5.7 Ocena doze pri scenariju padca letala

Kakor je opisano v poglavju 7.2.4.4 tega osnVP je bila opravljena ocena doze na prebivalstvo in zaposlene v primeru padca letala, za različne vremenske pogoje in različne oddaljenosti od odlagališča. Pri tem sta bila ocenjena dva vpliva:

- vpliv padca letala zaradi »trčenja« letala v silosa
- vpliv padca letala zaradi požara po trčenju

Ocenjene doze zaradi vpliva trčenja letala v silos in vpliva požara po trčenju so predstavljene v naslednji tabeli (Tabela 7-16). Pri tem velja, da je za zaposlene privzet vpliv na 30 m od silosa, vpliv na ostalih razdaljah pa je privzet za predstavnika prebivalstva.

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob scenariju trčenja letala v silos	Ocenjena doza [mSv/dogodek]		
Oddaljenost od silosa [m]	30 (izpostavljenost 8 ur)	100 (izpostavljenost 1 dan)	1000 (izpostavljenost 1 dan)
Trčenje letala (30t), 99 »Povprečnih« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji	17	15	0,7
Požar po padcu letala (20 ton goriva), 99 »Povprečnih« KPE, trajanje požara 1 h, najbolj neugodni vremenski pogoji	2,1	2,4	0,3

Tabela 7-16: Ocena doze pri scenariju trčenja letala in požara po trčenju

Skupna ocena doze pri scenariju padca letala (seštevek trčenja in požara) pa je predstavljena v naslednji tabeli (Tabela 7-16).

Kratek opis predpostavljenih parametrov ob scenariju padca letala v silos	Ocenjena doza [mSv/dogodek]		
Oddaljenost od silosa [m]	30 (izpostavljenost 8 ur)	100 (izpostavljenost 1 dan)	1000 (izpostavljenost 1 dan)
Padec letala (30t), 99 »Povprečnih« KPE, najbolj neugodni vremenski pogoji,	17	16	0,9

Tabela 7-17: Ocena doze pri scenariju padca letala (trčenje in požar skupaj)

Izračunana doza v primeru scenarija padca letala je najvišja od vseh scenarijev nesreč – nenormalnega obratovanja dogodkov, vendar so izračunane vrednosti pod mejo 100 mSv, ki skladno z evropskimi standardi predstavlja zgornjo referenčno mejo za prebivalstvo v primeru izrednih dogodkov.

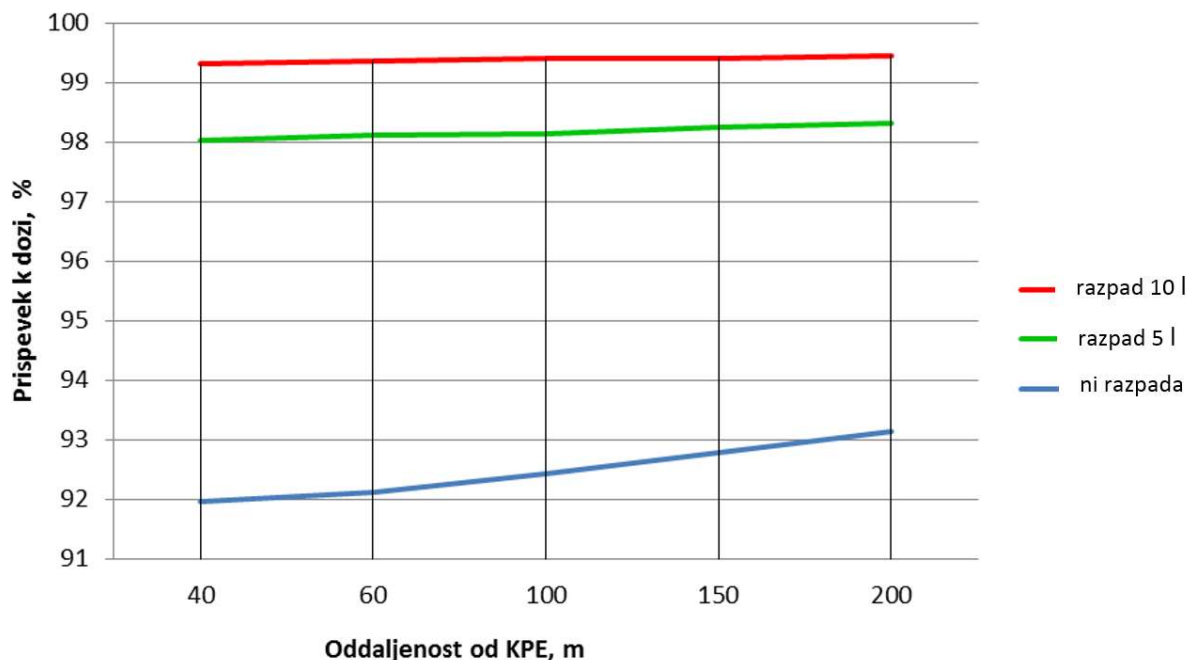
7.2.6 OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA VARNOSTNIH ANALIZ V ČASU OBRATOVANJA

V naslednjem poglavju je predstavljena analiza občutljivosti opravljenih varnostnih analiz za čas obratovanja odlagališča, ki so bile opravljene v okviru priprave varnostnih analiz in so povzete po poročilu o varnostnih analizah med obratovanjem [17]. V okviru analize občutljivosti so bili preučeni različni parametri, za katere je bilo ugotovljeno, da pomembno vplivajo na končni rezultat ocene doze. Glavni namen analize občutljivosti je določiti oz. preveriti vpliv nezanesljivosti posameznih obravnavanih parametrov na končno oceno.

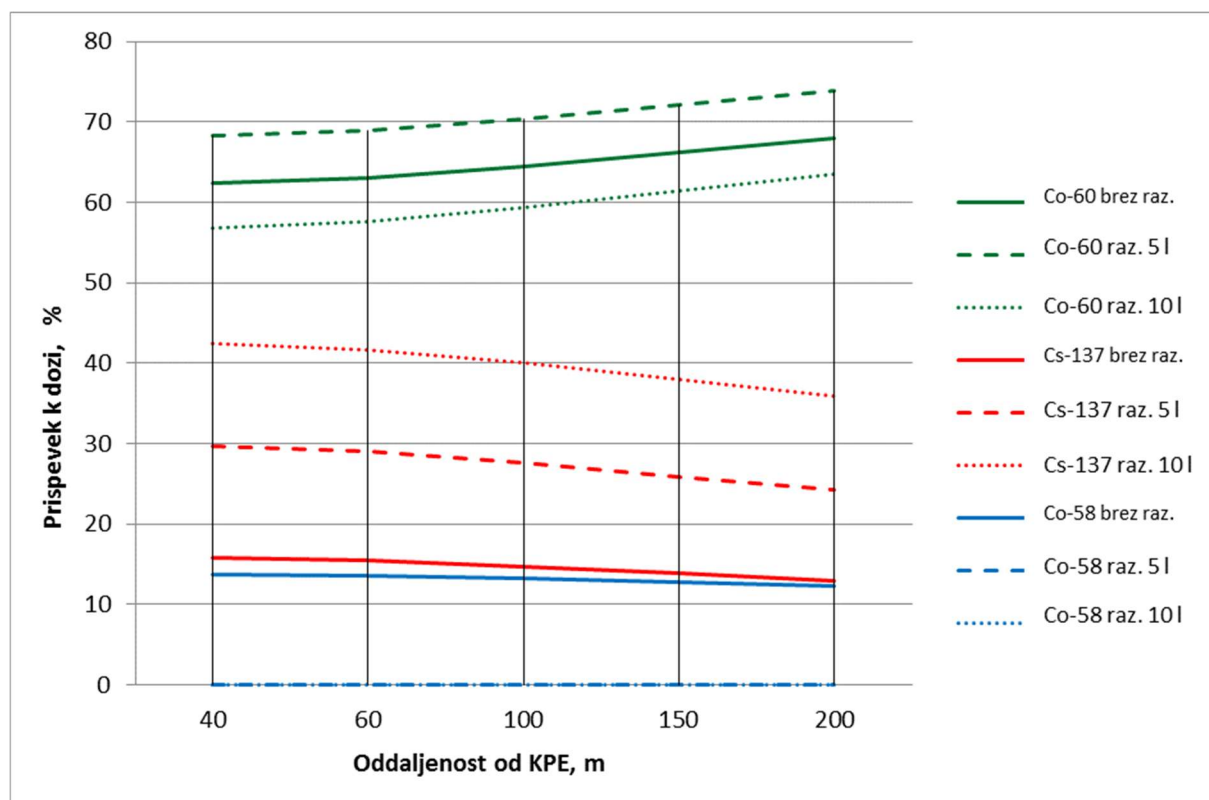
7.2.6.1 Sprememba v podatkih inventarja pri scenariju normalnega razvoja dogodkov

Iz opravljenih varnostnih analiz za scenarij normalnega razvoja dogodkov izhaja, da so radionuklidi, ki največ prispevajo k ocenjeni dozi (direktna izpostavljenost) pri scenariju normalnega razvoja dogodkov Co-58, Co-60 in Cs-137. Ti prispevajo od 92% do 99,5% doze, odvisno od časa staranja radioaktivnih odpadkov. Za izračun so bili uporabljeni podatki za

sveže odpadke, odpadke, ki so bili skladiščeni 5 let in 10 let. Prispevek pomembnih radionuklidov na končno ocenjeno dozo v odvisnosti od razdalje od kontejnerja in starosti odpadkov prikazuje spodnja slika (Slika 7-1). Prispevek posameznih radionuklidov, v odvisnosti od oddaljenosti od KPE in starosti odpadkov na ocenjeno dozo zaradi direktne izpostavljenosti pa prikazuje Slika 7-2.



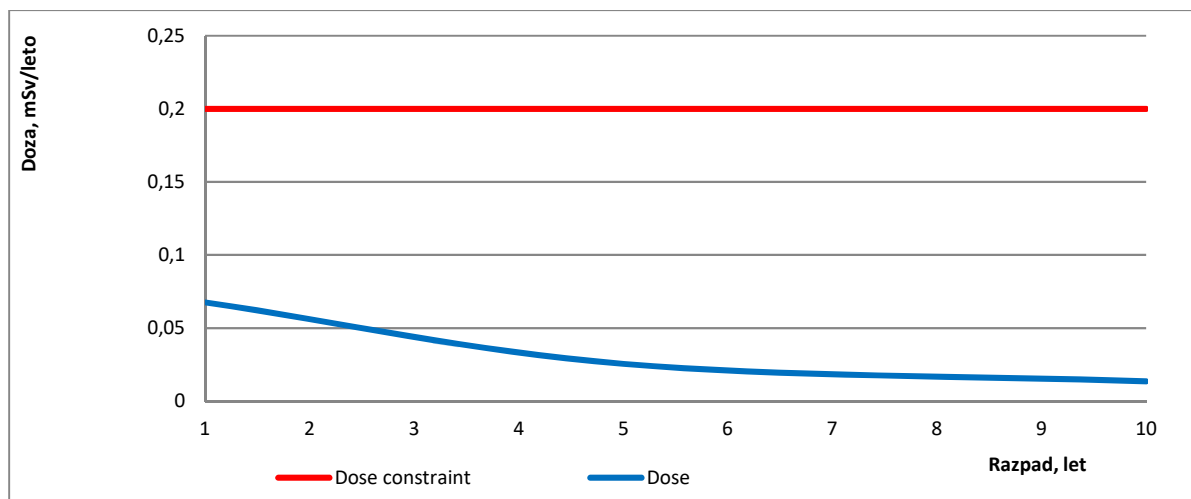
Slika 7-1: Prispevek pomembnih radionuklidov (Co-58, Co-60 in Cs-137) na končno ocenjeno dozo v odvisnosti od razdalje od kontejnerja in starosti odpadkov



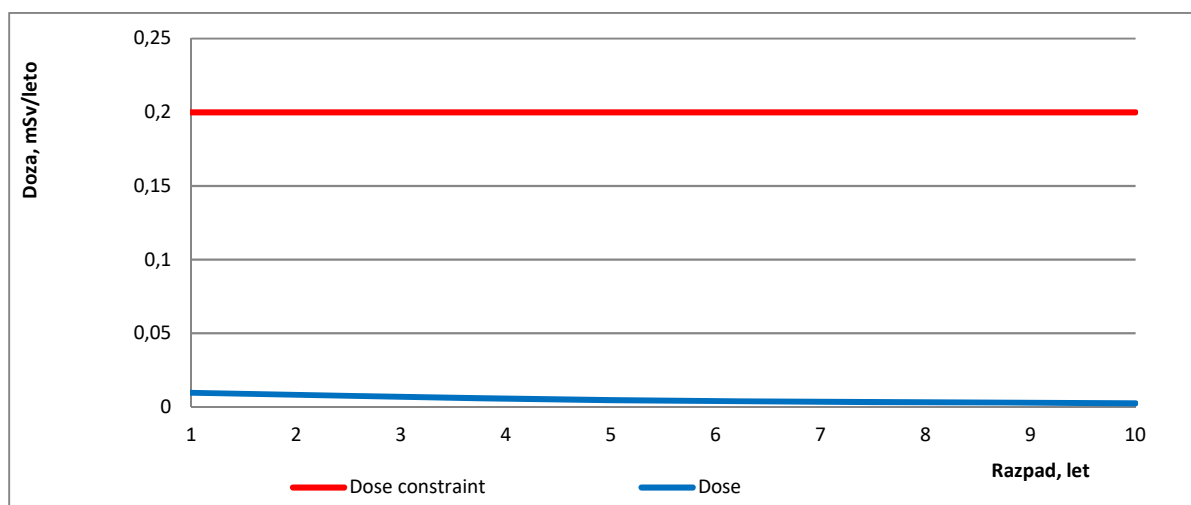
Slika 7-2: Prispevek posameznih radionuklidov, v odvisnosti od oddaljenosti od KPE in starosti odpadkov na ocenjeno dozo zaradi direktne izpostavljenosti

Na osnovi zgornjih grafov (Slika 7-1, Slika 7-2) lahko zaključimo, da prispevek ključnih radionuklidov (Co-58, Co-60 in Cs-137), v primerjavi z ostalimi, z razdaljo od KPE narašča. Zaradi relativno kratke razpolovne dobe Co-58, njegov doprinos k ocenjeni dozi po štirih letih postane zanemarljiv. Doprinos Co-60 prevladuje za vse obravnavane starosti odpadkov in je za 8-9 krat večji od doprinosa Co-58 in Cs-137 pri svežih odpadkih in 3 krat večji od Cs-137 pri 10 let starih odpadkih. Glede na privzete začetne aktivnosti in razpolovne dobe Co-60 in Cs-137 lahko zaključimo, da bo, za odpadke starejše od 15 let, ključen doprinos Cs-137 k skupni končni ocenjeni dozi.

Vpliv razpada oz. staranja odpadkov pred odložitvijo na ocenjeno dozo na ograji odlagališča prikazujeta sliki (Slika 7-3, Slika 7-4). Iz analize lahko zaključimo, da so privzete vrednosti starosti odpadkov (od 0 let do 10 let) zadostne za analizo tega vpliva na končen doprinos k ocenjeni dozi.



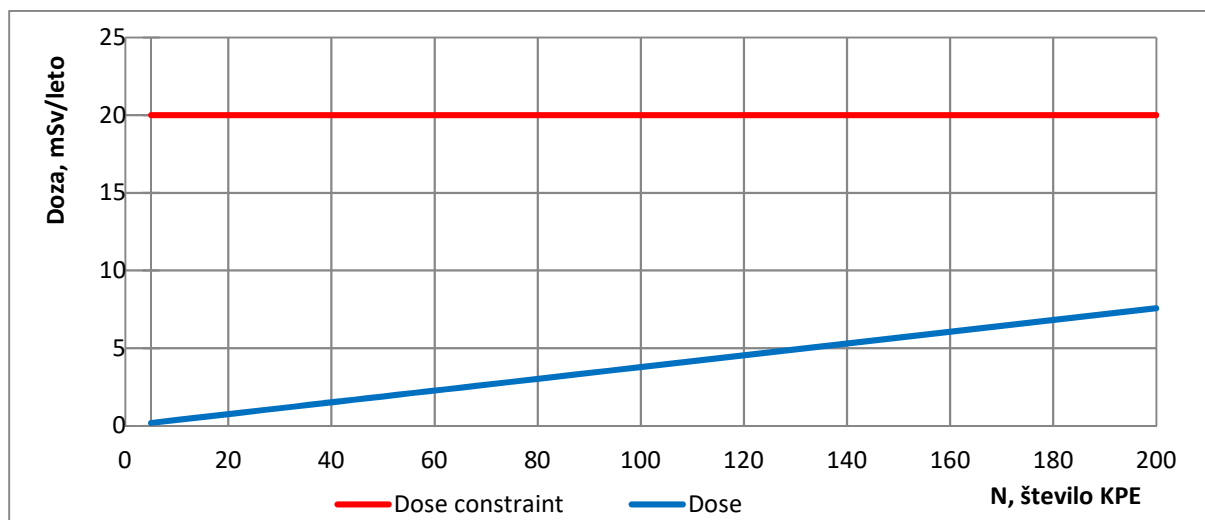
Slika 7-3: Vpliv razpada oz. staranja odpadkov pred odložitvijo na ocenjeno dozo na ograji (Dose) odlagališča ob upoštevanju analitičnega izračuna sipanja fotonov (z rdečo črto je označena predvidena omejitev na ograji odlagališča – Dose constraint)



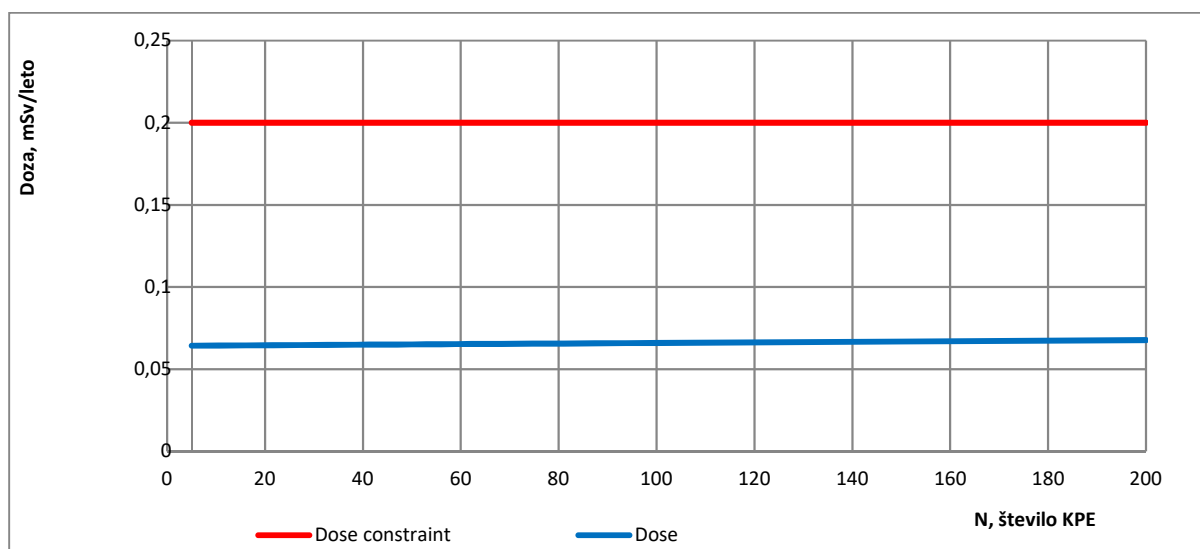
Slika 7-4: Vpliv razpada oz. staranja odpadkov pred odložitvijo na ocenjeno dozo na ograji odlagališča (Dose) ob upoštevanju izračuna sipanja fotonov z uporabo programa MicroSkyshine (z rdečo črto je označena predvidena omejitev na ograji odlagališča – Dose constraint)

7.2.6.2 Variacija števila odloženih KPE v enem letu

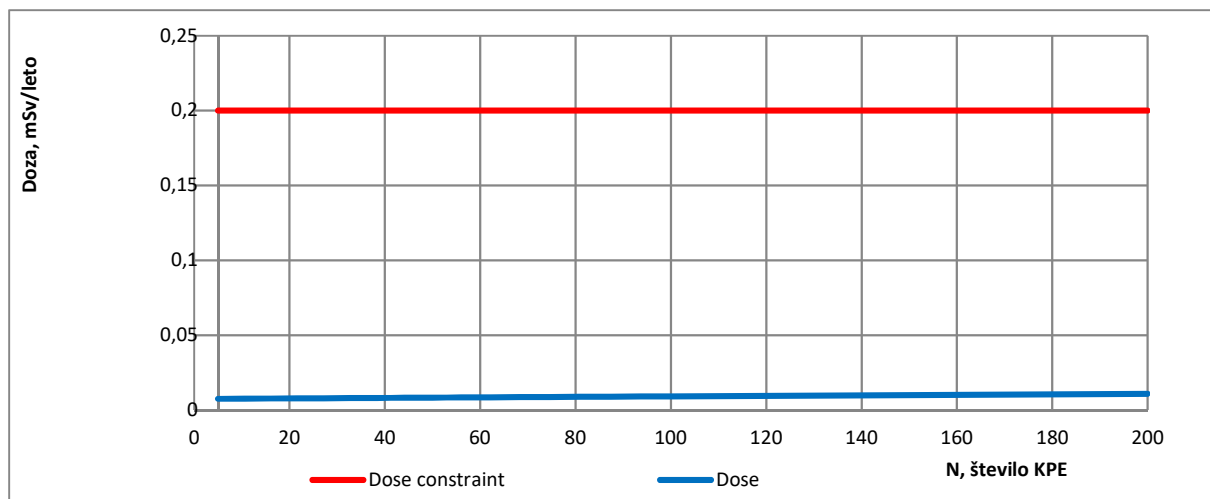
Občutljivostna analiza je bila izvedena tako, da je bilo v izračunih privzeto različno število (5, 50, 100, 150 in 200) odloženih KPE v enem letu in ocenjena doza na zaposlene in predstavnika prebivalstva. Rezultati so predstavljeni na naslednjih treh slikah (Slika 7-5, Slika 7-6, Slika 7-7). V vseh primerih vidimo, da so ocenjen doze pod omejitvami. Vidimo lahko, da število odloženih KPE ne vpliva na dozo na predstavnika prebivalstva na ograji, vpliva pa na dozo na zaposlenega.



Slika 7-5: Vpliv na prejetu dozo delavca operatorja (Dose) v odvisnosti od števila odloženih odpadkov v enem letu, upoštevano je odlaganje 5 let starih odpadkov (rdeča črta predstavlja omejitev prejete doze za zaposlene – Dose constraint)



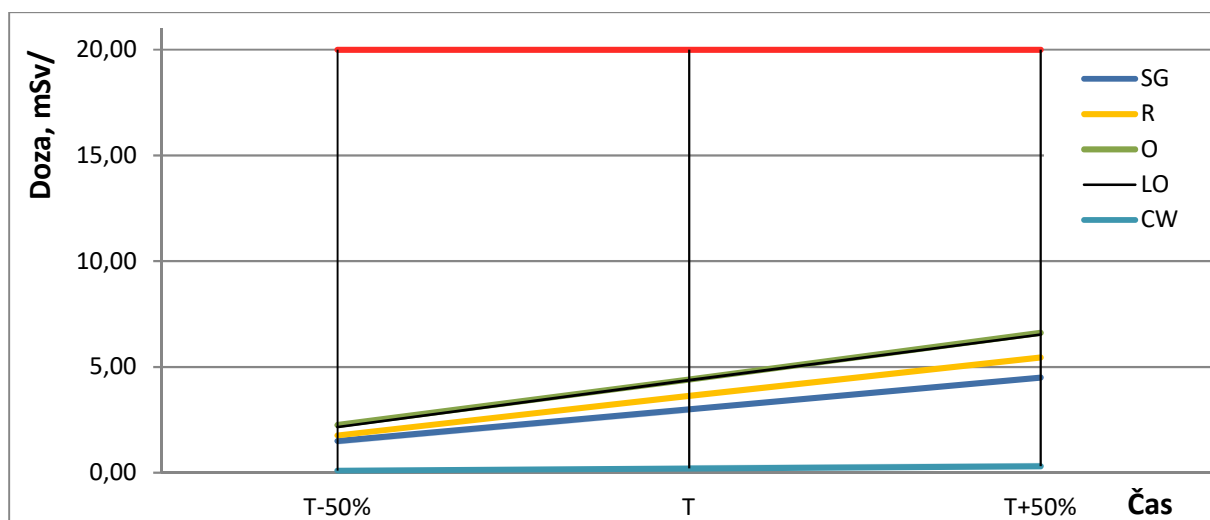
Slika 7-6: Vpliv števila letno odloženih KPE na predstavnika prebivalstva (Dose) ob odlaganju svežih odpadkov, sipanje fotonov je bilo v tem primeru določeno analitično (rdeča črta predstavlja omejitev na ograji odlagališča – Dose constraint)



Slika 7-7: Vpliv števila letno odloženih KPE na predstavnika prebivalstva (Dose) ob odlaganju svežih odpadkov, sipanje fotonov je bilo v tem primeru določeno s pomočjo programa MicroSkyshine (rdeča črta predstavlja omejitev na ograjo odlagališča – Dose constraint)

7.2.6.3 Vpliv trajanja aktivnosti na odlagališču na oceno doze

Čas potreben za izvedbo posameznih aktivnosti pri odlaganju KPE v silos je povzet po Idejnih zasnovah [5], kjer je ocenjen na podlagi praktičnih izkušenj drugih odlagališč ali jedrskih objektov, kjer izvajajo podobne aktivnosti. Natančni časi posameznih aktivnosti bodo znani šele v kasnejših fazah odlagališča (poskusno obratovanje, obratovanje) na podlagi praktičnih izkušenj delavcev, ki bodo te naloge opravljali. To je bilo pri analizi občutljivosti upoštevano tako, da je bil pri analizah upoštevan čas, predpostavljen za posamezno aktivnost (T_i) in povečan ali zmanjšan za 50% ($T_i \pm 50\%$). Opravljena analiza je predstavljena na naslednji sliki (Slika 7-8). Iz rezultatov lahko vidimo, da so vse ocenjene doze pod omejitvijo predpisano za zaposlene.



Slika 7-8: Vpliv časa izvajanja posameznih aktivnosti na prejeto dozo na zaposlene (kjer pomeni SG – varnostnik, R – radiolog, O – operator, LO – logistik, CW – zunanji izvajalec gradbenih del)

7.2.6.4 Vpliv meteoroloških pogojev na scenarije nesreč – nenormalnega obratovanja

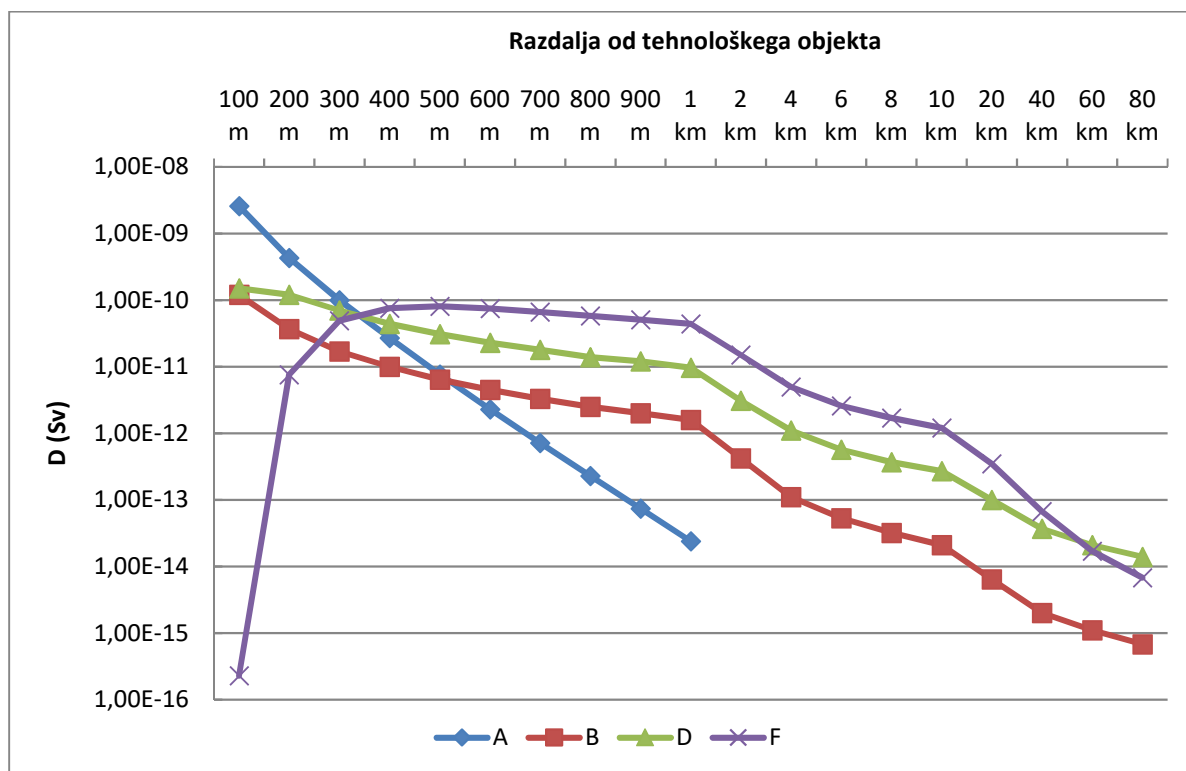
Kot je bilo omenjeno že v prejšnjih poglavjih tega osnVP je razširjenje oblaka kontaminacije v primeru scenarijev nesreč – nenormalnega obratovanja, odvisno tudi od vremenskih pogojev. V okviru občutljivostnih analiz so bili tako za lokacijo Vrblina Krško preučene 4 atmosferske

stabilnostne kategorije (določene na podlagi obsijanosti zemljine površine s soncem), ki predstavljajo:

- A zelo nestabilne atmosferske pogoje
- B zmerno nestabilne pogoje
- D nevtralne pogoje
- F razmeroma stabilne pogoje.

Za izračun je bil privzet scenarij padca KPE v tehnološkem objektu ob hitrosti vetra 1 m/s in nič padavin. Rezultati izračunov so prikazani na spodnji sliki (Slika 7-9).

Kot je pojasnjeno v poglavju 7.2.3.2.1 je izpust kontaminacije predviden na višini 10 m. Zaradi tega in večje disperzije pride pri razmeroma stabilnih pogojih do zelo nizkih koncentracij v sami bližini objekta. Mehanizem je podrobneje razložen v navodilih uporabljenega računalniškega programa HotSpot [41]

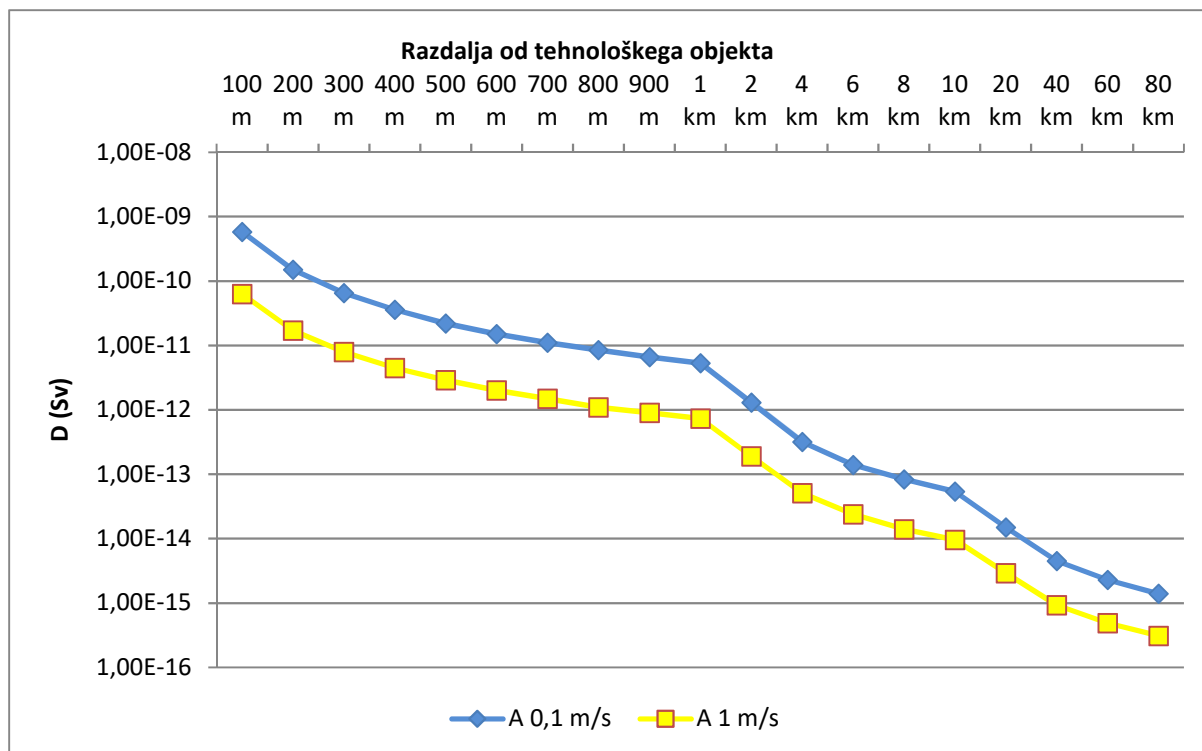


Slika 7-9: Vpliv stabilnosti atmosfere na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča

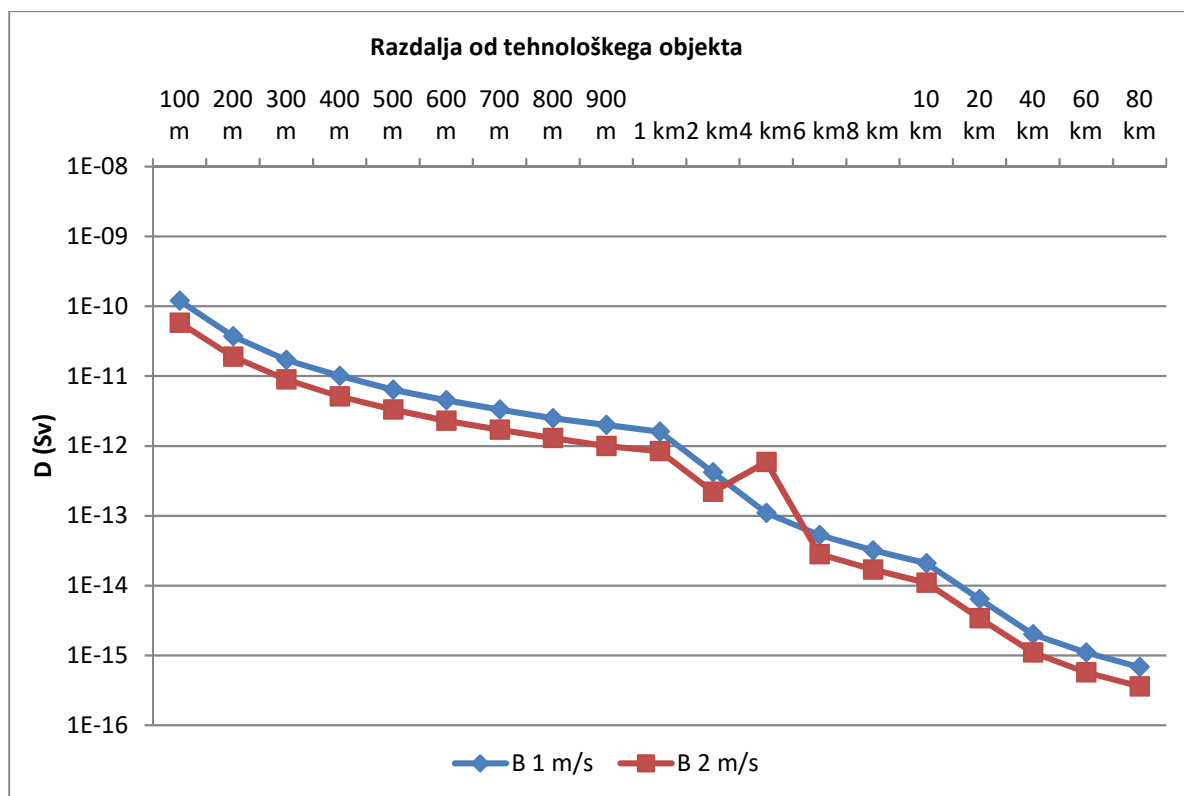
Na podlagi rezultatov so bili za oceno efektivne doze za posamezne razdalje v modelih izbrani najbolj neugodni atmosferski pogoji.

Poleg atmosferskih pogojev na razširjanje kontaminacije vpliva tudi hitrost vetra. Zato so bili opravljeni izračuni vpliva različnih hitrosti vetra za različne atmosferske pogoje, ki so predstavljeni na naslednjih slikah (Slika 7-10, Slika 7-11, Slika 7-12, Slika 7-13).

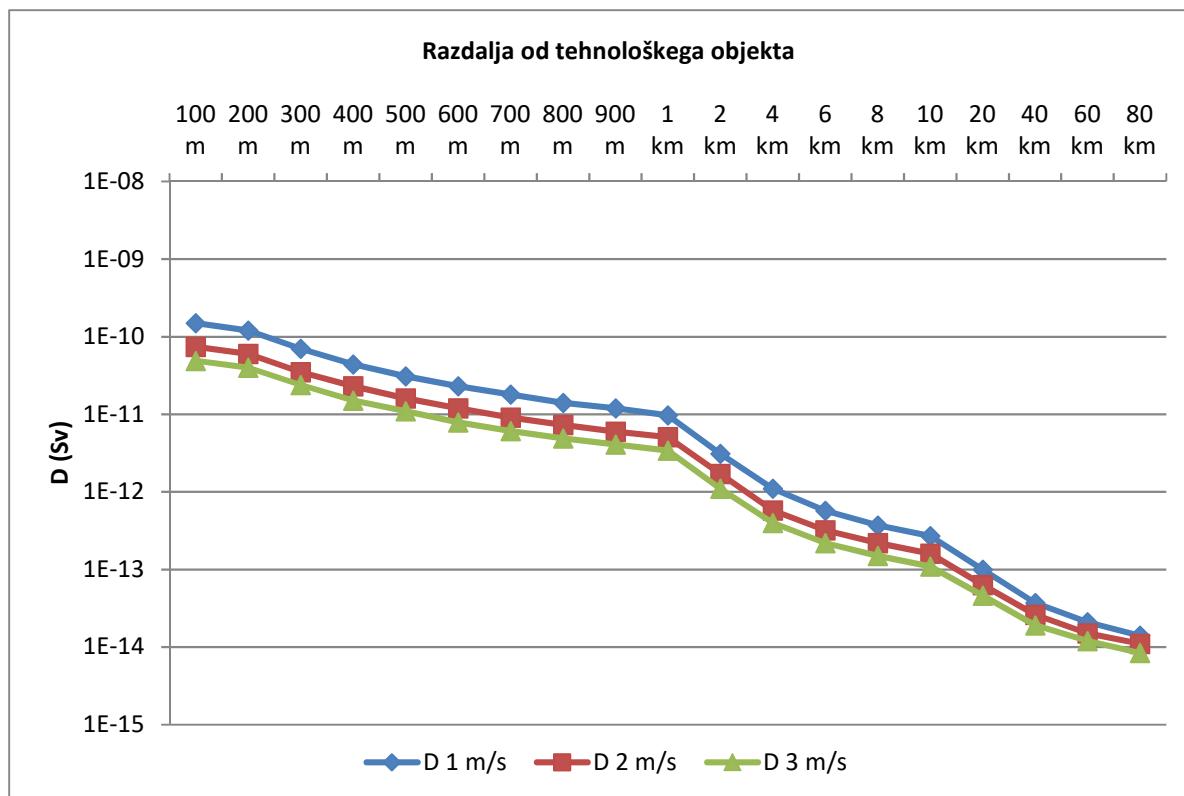
Iz rezultatov je razvidno, da v primeru nestabilne atmosfere (razred A), veter z višjo hitrostjo zmanjša efektivno dozo za približno 1 dekadno pri manjših razdaljah in za približno 25 % na večjih razdaljah. Glede na rezultate so bili za posamezne scenarije privzete hitrosti vetra, ki so bile najmanj ugodne – izračunane efektivne doze so bile največje.



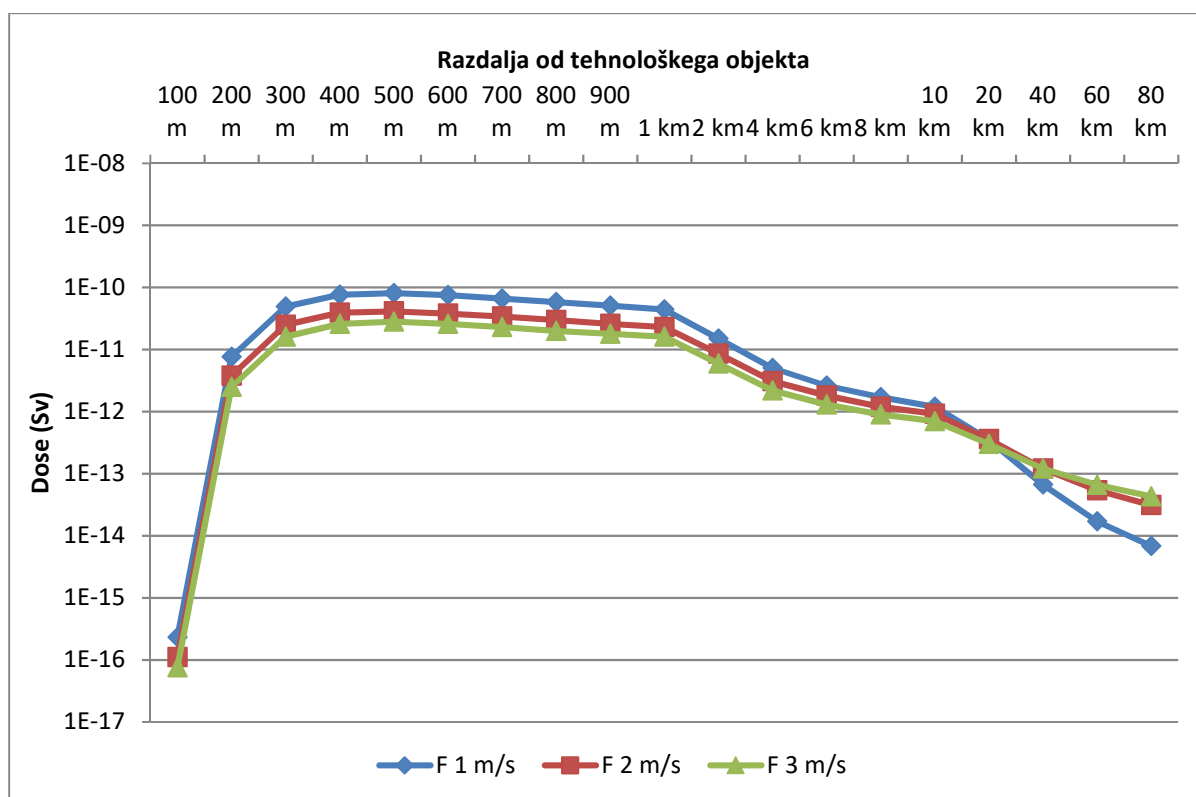
Slika 7-10: Vpliv vetra na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred A atmosferske stabilnosti)



Slika 7-11: Vpliv vetra na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred B atmosferske stabilnosti)

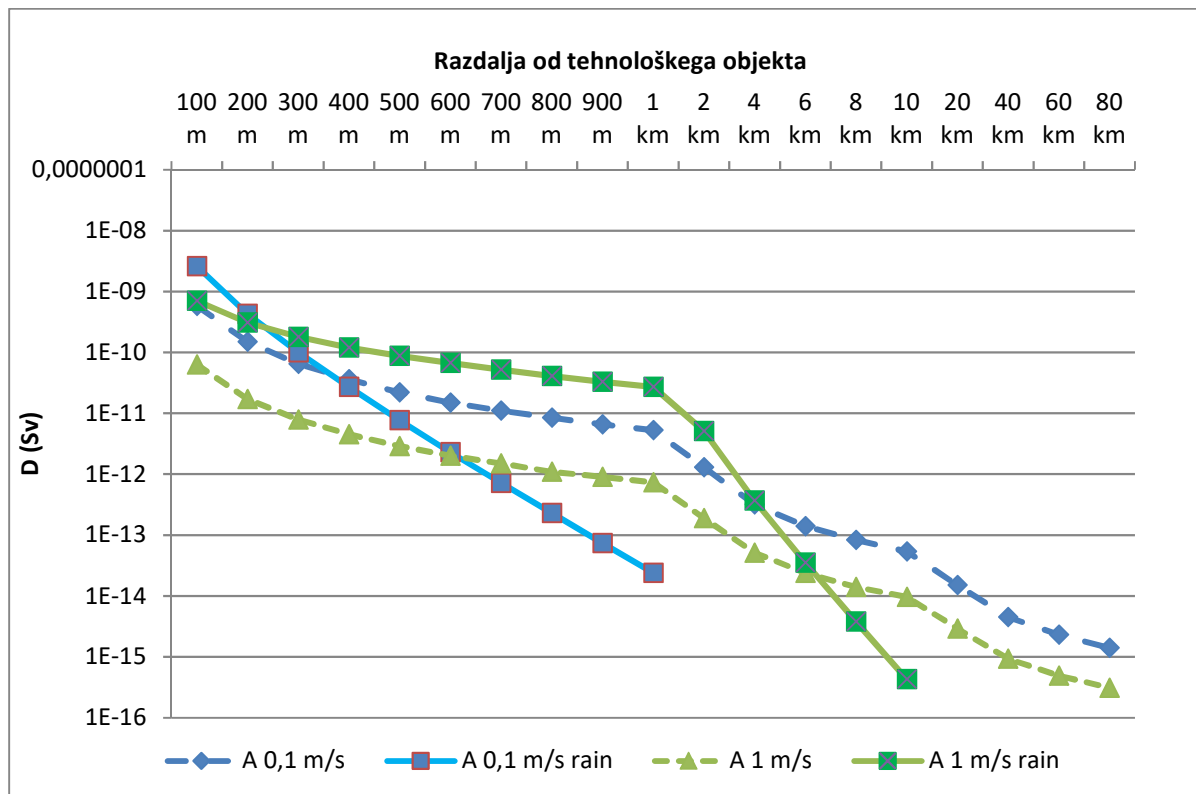


Slika 7-12: Vpliv vetra na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred D atmosfere stabilnosti)

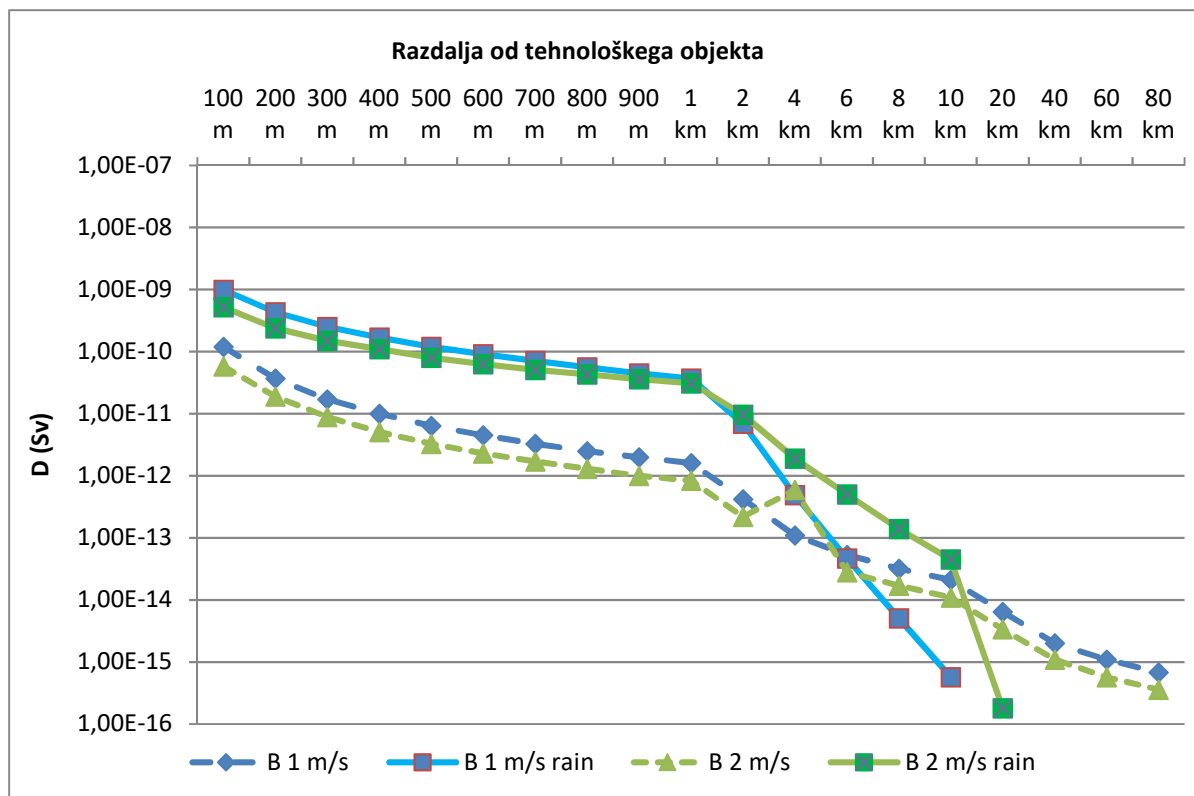


Slika 7-13: Vpliv vetra na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred F atmosfere stabilnosti)

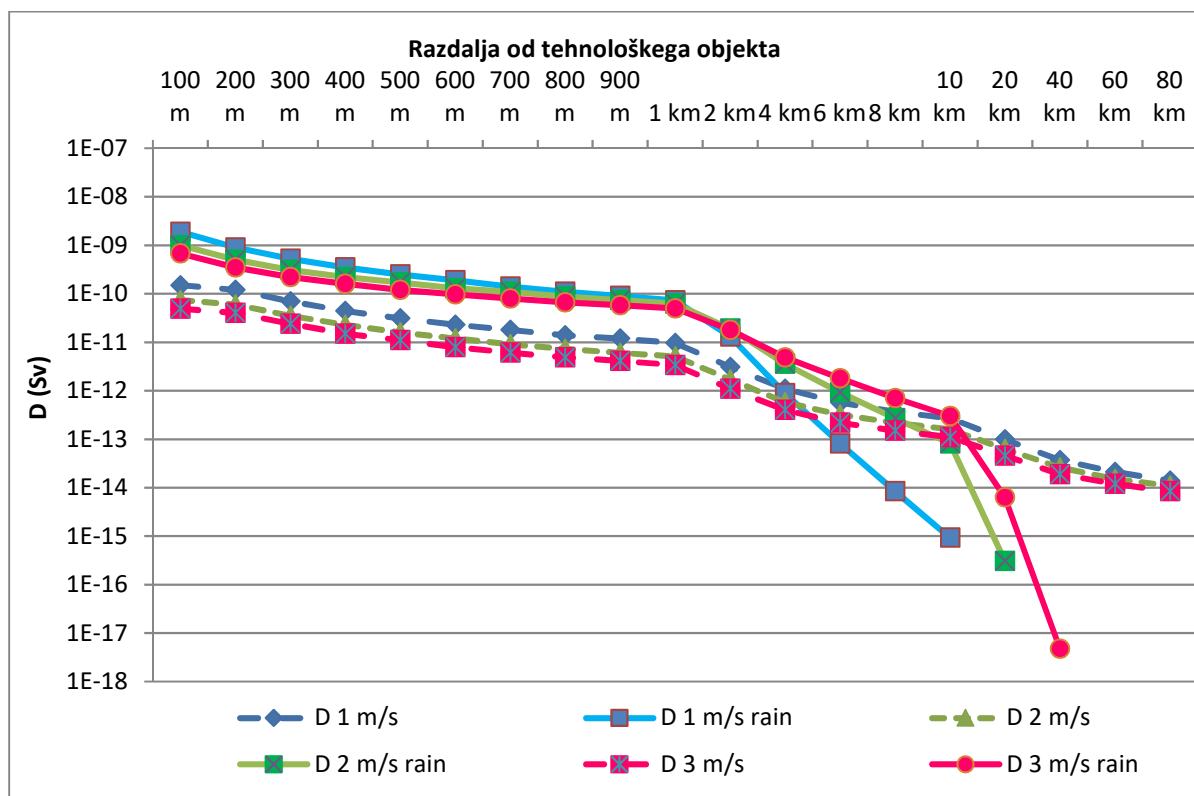
V okviru občutljivostnih analiz je bil preučen tudi vpliv padavin na rezultate razširjanja kontaminacije v zraku v primeru scenarija padca KPE v tehnološkem objektu. Za posamezne atmosferske razrede in hitrosti vetra, so bile privzete različne količine padavin in ocenjen njihov vpliv na končne rezultate – efektivno dozo. Rezultati so predstavljeni na naslednjih slikah (Slika 7-14, Slika 7-15, Slika 7-16, Slika 7-17).



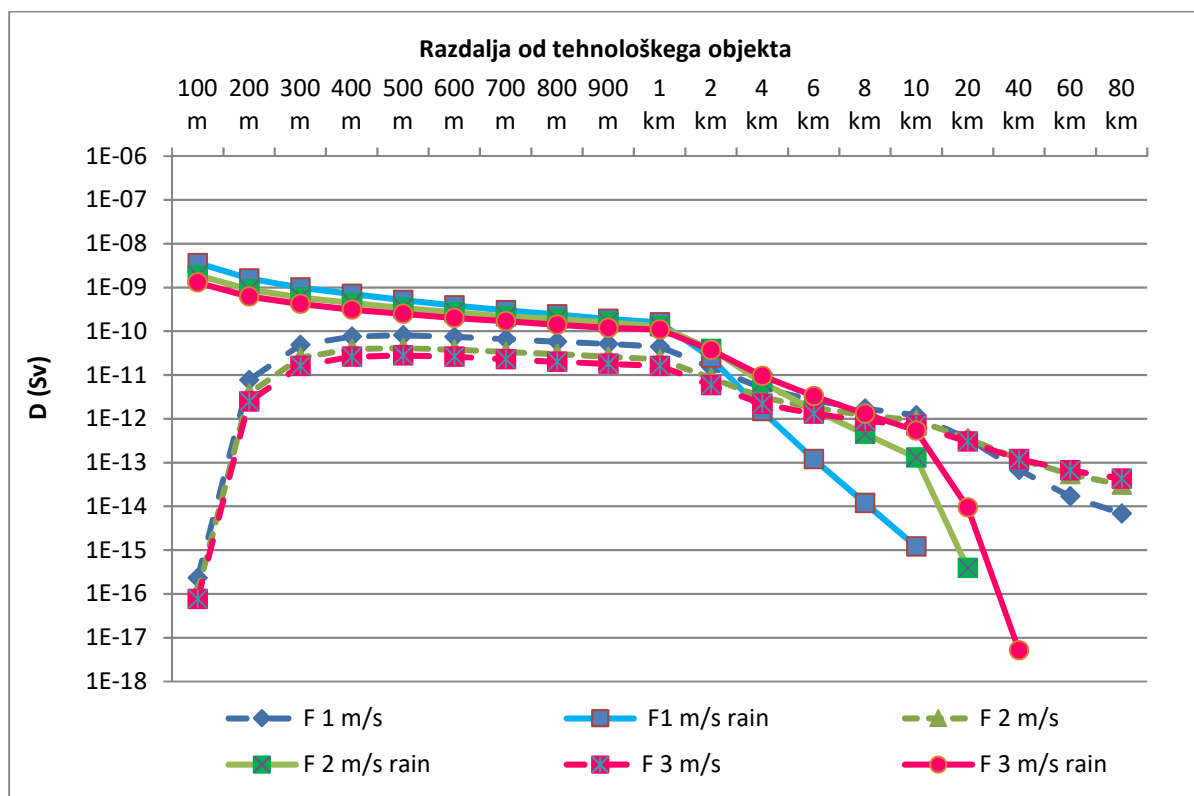
Slika 7-14: Vpliv padavin v kombinaciji z vetrom na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred A atmosferske stabilnosti)



Slika 7-15: Vpliv padavin v kombinaciji z vetrom na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred B atmosfere stabilnosti)



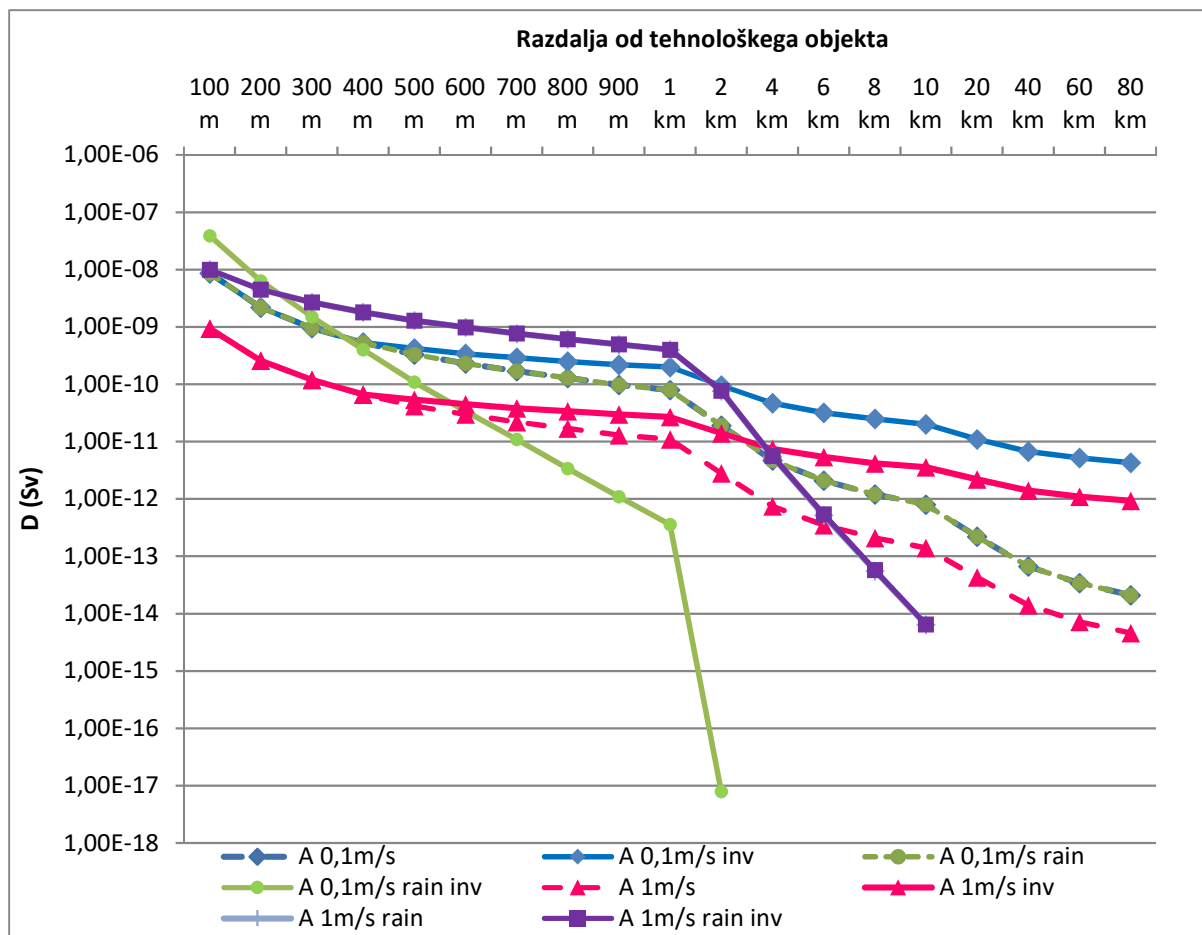
Slika 7-16: Vpliv padavin v kombinaciji z vetrom na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred D atmosfere stabilnosti)



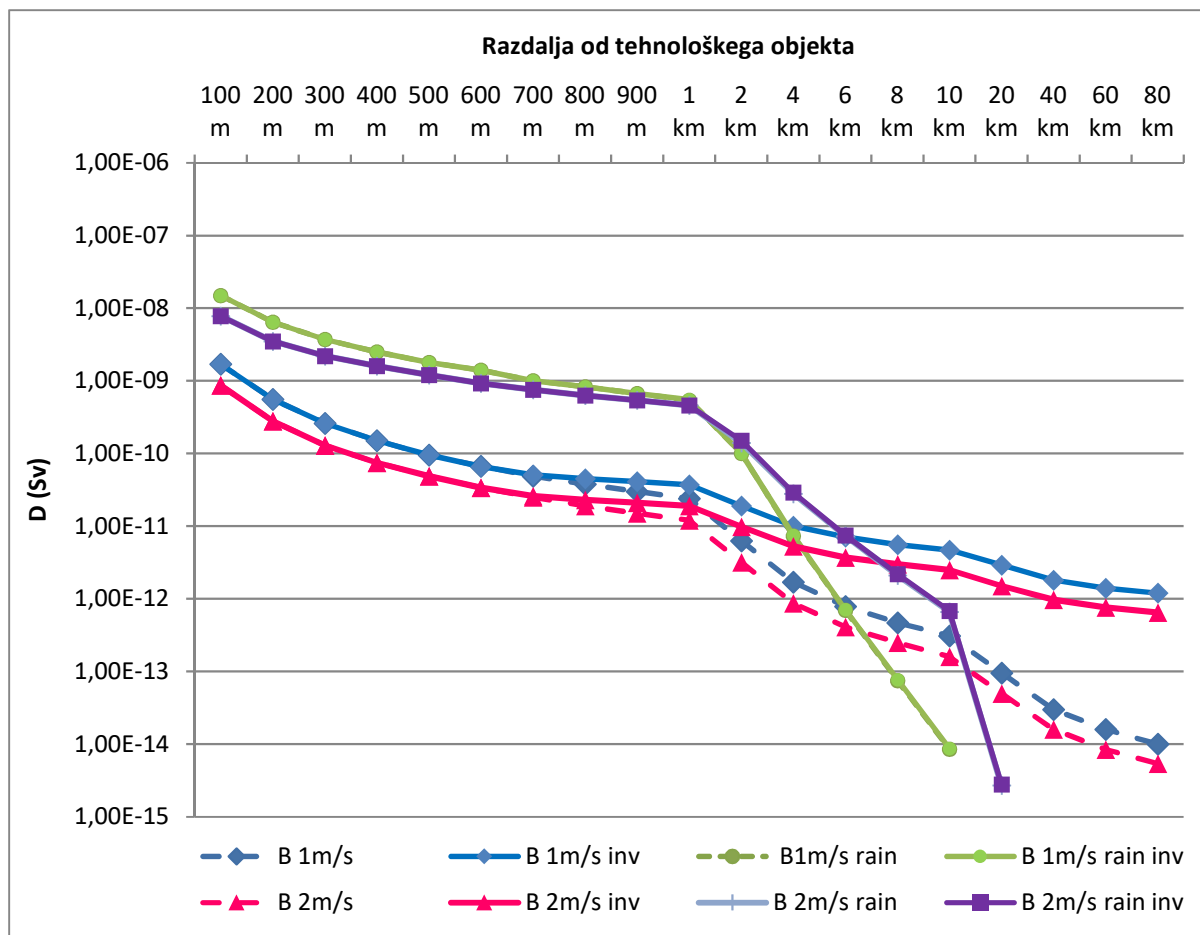
Slika 7-17: Vpliv padavin v kombinaciji z vetrom na efektivno dozo zaradi padca KPE v tehnološkem objektu, na različnih oddaljenostih od odlagališča (razred F atmosferske stabilnosti)

Iz rezultatov lahko vidimo, da prisotnost padavin v zelo nestabilnih atmosferskih pogojih s šibkim vetrom (razred A) nekoliko poveča dozo blizu odlagališča (do nekje 400 m) nato pa se doza zmanjšuje in je na razdalji približno 2m skoraj nična. Tudi v primeru vetra (1m/s) v teh pogojih doza naraste blizu odlagališča, nato pa pada in na razdalji približno 6 km doseže zanemarljivo vrednost. V primeru razreda B so ocenjene doze nekoliko višje v kombinaciji vetra in padavin na manjših razdaljah, na večjih razdaljah (med 10 in 20 km od odlagališča) pa hitreje padajo in dosežejo skoraj nične vrednosti. V primeru nevtralnih atmosferskih pogojev (razred D) so rezultati podobni. Za primer razmeroma stabilnih atmosferskih pogojev (razred F) pa je rezultati kažejo, da se ocenjene doze zaradi kombinacije vetra in padavin povečajo še bolj v sami bližini odlagališča, hitreje pa potem padejo z oddaljenostjo od izvora kontaminacije.

Na podlagi meteoroloških podatkov za območje Krškega [44] lahko sklepamo o pogosti temperaturni inverziji na višini 90 do 110 m na tem področju. Zato je bil za atmosferski kategoriji A in B, ko je ta fenomen najbolj značilen, izračunan vpliv temperaturne inverzije na višini 100 m na širjenje kontaminacije v primeru scenarija požara v tehnološkem objektu. Rezultati so predstavljeni na spodnjih dveh slikah (Slika 7-18, Slika 7-19). Iz rezultatov je razvidno, da temperaturna inverzija sicer ima nekaj vpliva na rezultate, vendar ta vpliv ni zelo velik. Večji vpliv (ocenjena doza je nekoliko višja) ima v bližini dogodka nekje do razdalje 1 km od odlagališča, nato pa je vpliv dogodka zaradi inverzije manjši, kot v primeru brez temperaturne inverzije.



Slika 7-18: Vpliv temperaturne inverzije (inv) in dežja (rain) na efektivno dozo v primeru scenarija požara v tehnološkem objektu v primeru zelo nestabilnih vremenskih pogojev (kategorija A)



Slika 7-19: Vpliv temperaturne inverzije (inv) in dežja (rain) na efektivno dozo v primeru scenarija požara v tehnološkem objektu v primeru nestabilnih vremenskih pogojev (kategorija B)

Na podlagi rezultatov občutljivostnih analiz so bile privzete konzervativne kombinacije vremenskih pogojev za oceno efektivne doze na zaposlene in predstavnika prebivalstva ob scenarijih nesreč – nenormalnega obratovanja.

7.2.7 ZAKLJUČKI VARNOSTNIH ANALIZ ZA ČAS OBRATOVANJA

Varnostne analize za čas obratovanja odlagališča NSRAO [17] so pokazale, da predlagan koncept in dizajn ustreza varnostnim kriterijem in je vpliv odlagališča med obratovanjem manjši od predpisanih omejitev. Pri tem so določene predpostavke obravnavane zelo konzervativno in bo zato ocenjen vpliv odlagališča v nadaljevanju, ko bodo uporabljeni podatki z manj nezanesljivosti, lahko še manjši.

Za scenarij normalnega razvoja odlagališča med obratovanjem je bilo ocenjeno, da v nobenem primeru doza na zaposlene ne bodo presegle dovoljenih omejitev. Skupinska doza za vse zaposlene na odlagališču naj ne bi presegla vrednosti 21,6 človek mSv/leto.

Z varnostnimi analizami je bilo konzervativno ocenjeno, da za scenarij normalnega razvoja odlagališča med obratovanjem, doza na predstavnika prebivalstva na ograji odlagališča ne bo presegla 5 μ Sv/leto, če upoštevamo, da se bodo odlagali odpadki po tem, ko bodo 5 let skladiščeni. V primeru takojšnjega odlaganja (svežih odpadkov) je ocenjena doza 11 μ Sv/leto na predstavnika prebivalstva na ograji odlagališča.

Ravno tako je bil ocenjen vpliv odlagališča za scenarije nenormalnega razvoja, kjer je bilo ugotovljeno, da je tudi v tem primeru vpliv odlagališča ob najbolj neugodnih vremenskih razmerah in neugodnih pogojih dela, na zaposlene in predstavnike prebivalstva nižji, kot so zahtevane minimalne referenčne vrednosti po Evropskih standardih [45].

Z varnostnimi analizami za čas obratovanja odlagališča je bilo tako ocenjeno, da načrtovano odlagališče NSRAO na lokaciji Vrčina, Krško, lahko obratuje varno.

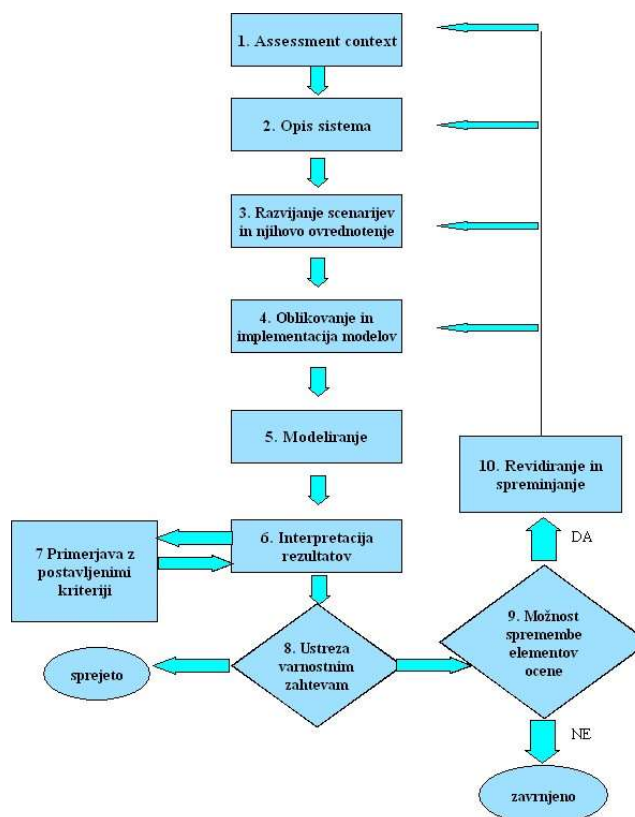
7.3 VARNOSTNE ANALIZE PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA NSRAO

Naslednje poglavje podaja pregled in opis varnostnih analiz za obdobje po zaprtju odlagališča NSRAO.

7.3.1 SPLOŠEN METODOLOŠKI PRISTOP

Varnostne analize so bile izvedene v skladu s priporočili in navodili IAEA [1], ki priporoča uporabo metodologije, ki jo včasih imenujemo tudi ISAM metodologija in je bila objavljena kot rezultat ISAM projekta [46], [24], razvita pa je bila ob upoštevanju dobre mednarodne prakse. Ena od glavnih značilnosti ISAM metodologije je iterativnost. Kar pomeni, da posamezne sestavne dele lahko spreminjamo po potrebi, iterativnost pa tudi sama po sebi vzpodbuja k izboljšanju posameznih ocen. Vsak izmed iteracij predstavlja en korak pri stopenjskem pristopu in to tako dolgo, dokler ni dosežen cilj za tisto fazo razvoja odlagališča. Rezultati lahko služijo tudi kot dobro orodje pri optimizaciji odlagališča in vseh aspektov njegovega obratovanja. Te izboljšave vključujejo spremembe v opisu projekta za objekt (npr. merila sprejemljivosti (MS), projekt...), scenarije, izboljšave modelov in uporabo dodatnih podatkov

Ključni sestavni deli metodologije so predstavljeni na naslednji sliki. Glavna lastnost metodologije je: identifikacija in ovrednotenje nezanesljivosti, ki med sabo povezuje sestavne dele metodologije. Uporaba metodologije nas sili k temu, da se v vsaki fazi – iteraciji posvetimo posameznim sestavnim delom in s tem povečamo zaupanje v končne odločitve, ki so tako ustrezno podprte, dokumentirane in koherentne.

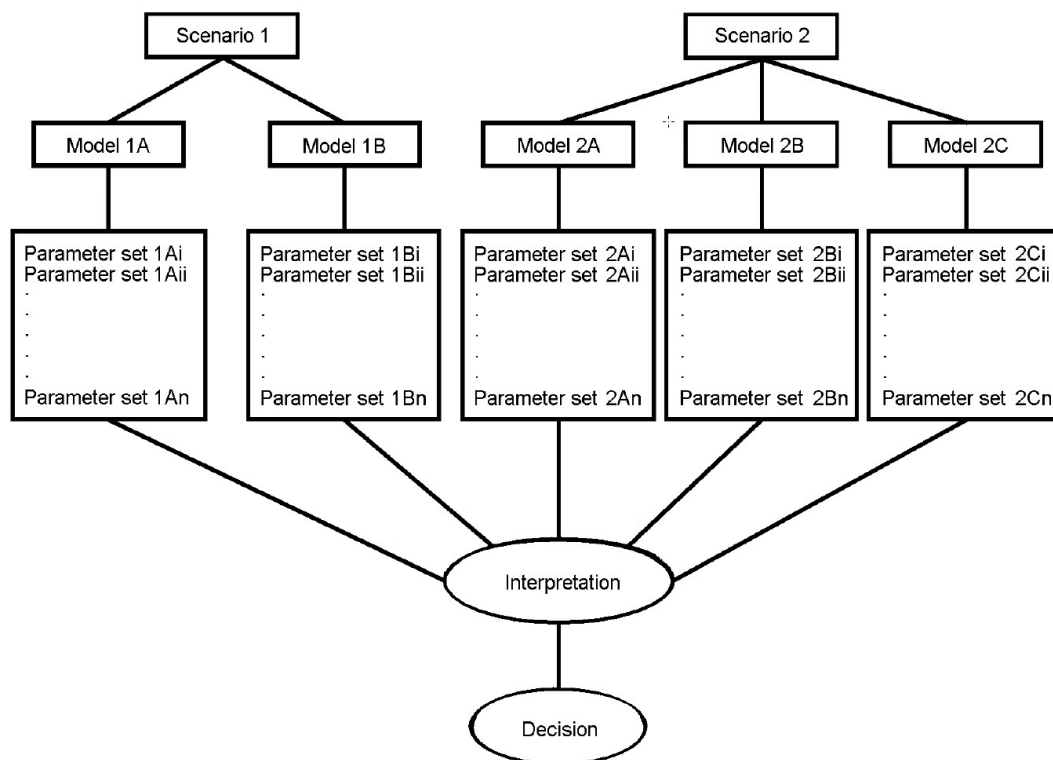


Slika 7-20: Mednarodno sprejeta IAEA »ISAM« metodologija povzeta po [46]

Namen varnostnih analiz in ocen je razviti in predstaviti ustrezna zagotovila, da ima odlagališče dolgoročno zanemarljiv vpliv na okolje, skladno z omejitvami opredeljenimi v zakonodaji. Izkušnje so pokazale, da je to najlažje izvedljivo preko analize in ovrednotenja nezanesljivosti in občutljivosti, ki je jasno in nedvoumno predstavljena. Nezanesljivosti, ki jih je potrebno vključiti so:

- nezanesljivosti lastnosti lokacije v prihodnosti (predstavljene so skozi uporabo alternativnih scenarijev – scenarijev spremenjenega razvoja dogodkov),
- nezanesljivosti, ki lahko nastanejo z opisom različnih pojavov, pomembnih za delovanje odlagališča – zagotavljanje varnostnih funkcij posameznih SSK, z modeli,
- nezanesljivosti pri vrednostih parametrov privzetih v modelih.

Splošna struktura pristopa k analizi nezanesljivosti je predstavljena na naslednji sliki, vodi pa k večjemu številu alternativnih izračunov, z namenom zadostnega razumevanja obnašanje celotnega sistema, na podlagi katerega je mogoče zanesljivo oceniti njegovo dolgoročno obnašanje.



Slika 7-21: Splošna struktura pristopa k analizi nezanesljivosti v okviru varnostnih analiz in ocen. Povzeto po ref. Performance Assessment of Low – Level Waste Disposal Facilities [47]

V okviru varnostnih analiz za odlagališče NSRAO je bil tako privzet pristop, v katerem je bil analiziran širši nabor scenarijev, podscenarijev in parametrov. Na podlagi teh analiz in preračunov so bile določene kredibilne kombinacije, ki so bile nato ovrednotene. Uporabljene so bile tako deterministične kot probabilistične ocene, ki so skupaj služile kot osnova za ovrednotenje nezanesljivosti.

Skladno s priporočilom [47] je bila varnostna analiza v tej fazi uporabljena za:

- oceno vpliva odlagališča na okolje in primerjavo z zakonskimi omejitvami,
- možnost izboljšave in optimizacijo projektnih rešitev v nadaljnjih fazah projekta.

7.3.2 ASSESSMENT CONTEXT - OCENA VSEBINE VARNOSTNIH ANALIZ V ČASU PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA

V okviru tega poglavja (Assessment context) so podani robni pogoji varnostnih analiz njihov namen pa je da se namen in vsebina predstavi deležnikom. Poglavje je namenjeno razjasnitvi, kaj je predmet varnostnih analiz in zakaj se jih izvaja. IAEA [1] določa, da mora Assessment context zagotavljati informacijo o namenu, upravnem okviru, rezultatih varnostnih analiz, filozofiji ocene, značilnostih odlagalnega sistema in časovnih okvirih.

Podrobno je Assessment context za osnVP obravnavan v poročilu varnostnih analiz [48].

Posebej pomembno je spoznanje, da so bile varnostne analize in ocene zasnovane tako, da upoštevajo slovenske zakonske zahteve za dolgoročno oceno radiološke zaščite ljudi pred sevanjem po zaprtju, ki so jasne in nedvoumne. Poleg tega je bila izvedena ocena vplivov ne-radioaktivnih onesnaževal (ki so lahko prisotni v NSRAO) na človeka in okolje, skladno s slovenskimi predpisi za zaščito podzemnih voda. Poleg tega so bila za področja (predvsem

varstvo okolja, za katerega slovenski predpisi določajo manj smernic), privzeta mednarodna priporočila in pristopi. Zato zakonski okvir, ki ga upoštevajo izvedene varnostne analize in ocene vključuje vse elemente, ki omogočajo dovolj zanesljivo obravnavo odlagalnega sistema v okviru varnostnih analiz, tudi na področjih kjer so slovenski predpisi dvoumni ali jih ni.

Osnovne in ključne upravne omejitve, ki jih je potrebno v teh varnostnih analizah upoštevati so podane v pravilniku JV5 [21]:

"Odlagališče NSRAO po zaprtju ne sme obremeniti posameznega prebivalca z več kakor 0,3 mSv/leto pri scenariju normalnega razvoja odlagališča. Ob uveljavitvi scenarijev spremenjenega razvoja odlagališča je treba upoštevati naslednja merila za ukrepanje glede na obremenitev posameznega prebivalca:

- a. do 10 mSv/leto - ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni;
- b. nad 10 mSv/leto - so potrebni ukrepi za zmanjšanje verjetnosti scenarija spremenjenega razvoja in
- c. nad 100 mSv/leto - so potrebni ukrepi za zmanjšanje posledic scenarija spremenjenega razvoja."

Pravilnik JV5 [21] definira scenarij normalnega in spremenjenega razvoja kot:

»Scenarij normalnega razvoja odlagališča je pričakovana degradacija stanja objekta še dolgo po njegovem zaprtju zaradi naravnih procesov ali človeških posegov, ki ga dobimo z ekstrapolacijo sedanjih razmer v prihodnost.«

»Scenarij spremenjenega razvoja odlagališča so neželeni dogodki oziroma stanje po zaprtju odlagališča, povzročeni bodisi z naravnimi vzroki bodisi so človeškega, živalskega ali rastlinskega izvora, ki pospešijo dolgoročno degradacijo odlagališča in migracijo radioaktivnih snovi ter povečajo sevanje. Tak scenarij vključuje na primer namerni človeški vdor, vodne in mineralne vrtine, učinek tople grede, aktivacijo prelomov, globalne zaledenitve, odpoved tesnjenja objektov, migracijo z nastalimi plini ipd.«

Zahteve so konsistentne z priporočili ICRP [49] in jasno definirane.

Regulativa s področja varstva okolja

JV 5 [21] v Prilogi 4 navaja:

»Lokacija odlagališča mora zagotoviti ustrezno varstvo okolja med celotno obratovalno dobo in tudi po zaprtju objekta. Možne škodljive posledice morajo biti sprejemljivo omiljene, upoštevajoč gospodarske, družbene in okoljske vidike.«

Ni pa specifičnih zahtev kako naj se taka ocena izvede na ostalo biosfero (ne na človeka). V varnostnih analizah so bile zato privzeta priporočila ICRP, ki govorijo naj se ocenjene koncentracije na okolje primerjajo z izpeljanimi referenčnimi ravnmi (DCLR derived consideration reference levels) za določen nabor referenčnih živali in rastlin [50].

Regulativa za ne radioaktivne toksične materiale

V slovenski zakonodaji ni jasno opredeljeno katera priporočila ali standarde naj bi upoštevali pri izdelavi varnostnih analiz za neradioaktivne toksične materiale, ravno tako, tudi ni opredeljen časovni okvir takih analiz. V splošnem (mednarodna praksa) je regulativa s področja toksičnih materialov pripravljena na drugačnih osnovah, kot tista za radioaktivne odpadke in posledično težko združljiva [51], [52].

V okviru teh varnostnih analiz je bil za določitev mejnih vrednosti koncentracij posameznih kontaminantov privzet Pravilnik o pitni vodi [53], ki vsebuje mejne vrednosti tudi za težke kovine, ki so prisotne v posameznih tokovih radioaktivnih odpadkov. Uporabljeni so bili enaki časovni okviri, kot za radioaktivne odpadke.

7.3.2.1 Doze na predstavnika prebivalstva

Pravilnik JV5 [21] določa, da je potrebno v okviru varnostnih analiz oceniti dozo na posameznega prebivalca, ne določa pa tipa doze oziroma kako izbrati posameznika ali skupino posameznikov za to oceno, ali kako določiti področje, kjer so potencialno izpostavljeni posamezniki locirani. v okviru varnostnih analiz so bila zato uporabljena priporočila iz ICRP [49], [54].

Privzeto je bilo, da bo potencialna radioaktivna kontaminacija biosfere relativno konstanta skozi obdobje, ki je veliko daljše od obdobja življenja človeka. Zato je smiselno, da se ocenjuje letno dozo na posameznika, ki je povprečna na njegovo življenjsko dobo, kar pomeni, da ni potrebno izračunati doze za posamezne starostne skupine, saj je njihovo povprečje predstavljeno z letno dozo na odraslega posameznika. V tem kontekstu je bilo privzeto, da termin doza pomeni »efektivno dozo«, ki jo posameznik lahko prejme v 70. letih zaradi zaužitja in zunanega obsevanja, kar je skladno tudi z ICRP priporočili [54]. Skladno s priporočili [49] je bila za potrebe varnostnih analiz določena tudi kritična skupina posameznikov, ki je predstavljena v nadaljevanju (Poglavje 7.3.6.1).

7.3.2.2 Scenarij nenamernega vdora človeka

Uporaba scenarija nenamernega vdora človeka v odlagališče za oceno koncentracij primernih za pripovršinska odlagališča izhaja iz 70. let prejšnjega stoletja [55]. Skladno s tem pristopom so radioaktivni odpadki sprejemljivi za odlaganje v pripovršinskem odlagališču, če so njihove koncentracije tako nizke, da so potencialne doze, ki jih dobijo tisti, ki v odlagališče vdrejo, še sprejemljive. Če so koncentracije radioaktivnih odpadkov tako visoke, da potencialne doze pri vdoru niso več sprejemljive, jih v tako odlagališče ni mogoče odložiti in je potreben drugačen (globlji) koncept odlagališča.

Osnovni principi za preprečevanje scenarija nenamernega vdora so [56]:

- nadzor nad odlaganjem določenih tokov odpadkov,
- oblika odpadkov, pakiranje in načrtovanje,
- naravne prepreke (predvsem globina) in
- institucionalni nadzor.

Različni nacionalni programi so privzeli in prilagodili strategijo za zaščito tistih, ki bi nenamerni vdor izvršili, s tem, da so bolj poudarili enega od zgoraj naštetih principov.

Te predpostavke so pomembne tudi za odlagališče NSRAO Vrbinja, Krško, predvsem zaradi naslednjih razlogov:

- nekateri tokovi odpadkov, ki bodo odloženi v odlagališče bodo lahko imeli višje koncentracije, kot je tipično za priporšinska odlagališča,
- lastnosti koncepta odlaganja so take, da je verjetnost scenarija nenamernega vdora človeka v odlagališče občutno manjša, kot za druga »standardna« odlagališča,
- odlagališče je načrtovano tako, da so posledice nenačrtovanega vdora manjše, kot za »standardna« odlagališča.

Na podlagi zgornjih opažanj je bil ocenjen za odlagališče NSRAO tudi scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče. V skladu s priporočili ICRP [57] so bili v okviru varnostnih analiz kot potencialni »prejemniki doz« pri tem scenariju upoštevani tudi ljudje živeči okoli lokacije odlagališča. Ravno tako so bile ocenjen tudi potencialne doze na tistega, ki vdor izvede. Ravno tako je potrebno razlikovati med »normalnim« obnašanjem ljudi živečih na tem področju ter dogodki, s kratko dobo trajanja in/ali majhno verjetnostjo, ki lahko vplivajo le na manjše število ljudi. Kar pomeni, da, podobno kot za industrijske nesreče, ni smiselno uporabiti istega kriterija za omejitev potencialne prejete doze za tistega ki izvede nenamerni vdor kot za tiste, ki v okolici odlagališča le živijo. Zaradi tega je bil scenarij nenamernega vdora v odlagališče obravnavan kot scenarij spremenjenega razvoja dogodkov [50] in privzete omejitve za to vrsto dogodka. Iste omejitve so bile privzete tako za tistega, ki vdor izvede, kot tudi za tiste, ki po vdoru živijo v okolici odlagališča.

7.3.2.3 Vpliv na organizme različne od človeka

Do nedavnega je bil pristop do varnostnih odlagališč po zaprtju tak, da je ocenil le vplive na varnost ljudi, ob predpostavki, da zaščita ljudi pomeni tudi zaščito drugih organizmov in okolja. Z novimi priporočili ICRP [57] pa je sedaj potrebno direktno in eksplicitno pokazati da je vpliv odlagališča NSRAO na okolje zanemarljiv. ICRP [50] je tako priporočil uporabo prenovljenega pristopa k oceni vpliva na okolje. Pripravljen je bil seznam referenčnih živali in rastlin (Reference Animals and Plants – RAPs) (Tabela 7-18)ter za vsako od njih izpeljana referenčna vrednost (DCRL). Ta je definirana kot hitrost doze pri kateri bi lahko prišlo do škodljivih vplivov na posameznega predstavnika RAP.

kopenski organizmi	rečni organizmi
dvoživke	dvoživka
ptiči	ribe, ki se zadržujejo v mulju
polži	ptice
ptičja jajca	školjke
razkrojevalci nevretenčarji	- raki
leteči insekti	polži
trava in zelišča	ličinke insektov
lišaji in mahovi	vodni sesalci
sesalci (jelen)	ribe, ki se ne zadržujejo v mulju - Pelagic fish
sesalci (podgana)	fitoplankton
plazilci	višje razvite rastline
grmovje	zooplankton

zemeljski (črvi)	nevretenčarji	
drevo		

Tabela 7-18: Seznam referenčnih živali in rastlin

V varnostnih analizah za odlagališče NSRAO Vrbin, Krško je bilo uporabljeno orodje ERICA [58] za izračun doz na posamezne predstavnike RAP, ki so bile primerjane z izpeljanimi referenčnimi vrednostmi [50].

7.3.2.4 Varnostna ocena za neradioaktivne toksične materiale

Nekaj nacionalnih programov je v svojih varnostnih ocenah že upoštevalo tveganja zaradi neradioaktivnih – toksičnih elementov, pri tem je potrebno poudariti, da je nivo ocene vpliva toksičnih elementov veliko pod nivojem ocene vpliva radioaktivnih materialov. Predvsem zaradi tega ker je toksične komponente v radioaktivnih odpadkih izredno težko določiti.

Varnostne analize za odlagališče NSRAO vključujejo ovrednotenja vpliva toksičnih komponent na človeka. Pri tem so bile uporabljene toksične komponente, ki so poznane v radioaktivnih odpadkih. Za njih so bili opravljeni izračuni vpliva na človeka in primerjani s kriteriji za pitno vodo [53] (glej tudi prejšnje poglavje o regulativi). Lokacija vodnjaka in kontaminirane vode je bila enaka kot za oceno efektivno doze na predstavnika kritične skupine prebivalstva pri pitju kontaminirane vode.

7.3.2.5 Časovni okvir varnostnih analiz

V slovenski zakonodaji je časovni okvir varnostnih analiz opredeljen v pravilniku JV 5 [21], ki pravi:

»Možno tveganje za današnje in v prihodnosti predvideno prebivalstvo na območju lokacije zaradi odlagališča mora biti sprejemljivo.«

To priporočilo je bilo v varnostnih analizah upoštevano z uporabo mednarodnih priporočil in izkušenj povezanih s časovnimi okviri, ki so predstavljena v nadaljevanju.

7.3.2.5.1 Pristop k obdobju institucionalne kontrole

Odlagališče bo, kot jedrski objekt, nadzorovano s strani državnega organa. Nekoč v prihodnosti pa bo objekt izgubil status jedrskega objekta in bo kot tak prišel v prosto uporabo. Zato dolgega časovnega obdobja, ko so radioaktivni odpadki lahko nevarni in priporočil [21] o sprejemljivosti tveganja za prihodnje generacije, je potrebno predvideti, da bo nekoč v prihodnosti kombinacija nekaterih dogodkov povzročila prenehanje institucionalne kontrole in izgubo vedenja o lokaciji odlagališča. Ta predpostavka je ena vodilnih v okviru mednarodne regulative in priporočil za odlagališča NSRAO.

Ker v slovenski zakonodaji ni posebnih zahtev glede trajanja institucionalne kontrole, je njeno trajanje potrebno opredeliti predvsem za izvedbo varnostnih analiz. Glavni namen institucionalne kontrole je zagotoviti čas, da kratkoživi radionuklidi v odpadkih razpadejo, kar pa vpliva na scenarije, do katerih lahko pride le po prekinitvi institucionalnega nadzora (npr. scenarij nenamernega vdora).

Za potrebe varnostnih analiz je bilo privzeto, da je odlagališče podvrženo institucionalnemu nadzoru 300 let po njegovem zaprtju. To obdobje je razdeljeno na obdobje aktivnega in

pasivnega nadzora, ki je predstavljeno v poglavju 12 tega osnVP, kar pa ni pomembno za izvajanje varnostnih analiz.

7.3.2.5.2 Pristop k dolgoročnim varnostnim analizam

Časovni okvir izvajanja varnostnih analiz mora upoštevati nekaj ključnih konceptov. Kot prvi je koncept IAEA [59], ki zahteva zaščito sedanjih in prihodnjih generacij. Ta princip je osnova za to, da naj bi se varnostne analize izdelovale dolgoročno. Zavedati pa se je potrebno, da imamo opraviti, zaradi dolgih časovnih okvirov, z zelo velikimi nezanesljivostmi, kar izredno zmanjša pomen - vrednost varnostnih analiz [60], [61], [62].

ICRP je zato v svoji Publikaciji 81 [49], predstavil revidirane predloge časovnih okvirjev za odlagališča, ter tudi koncept »kritične skupine«. ICRP 81 prepoznava uporabo alternativnih, komplementarnih indikatorjev kot dodatek k izračune doze/tveganja. Poročilo BIOMASS [63] tako izpostavlja uporabo t.i. družbenih predpostavk. V okviru izdelave varnostnih analiz za odlagališče NSRAO so bile tako uporabljene naslednje družbene predpostavke.

- raven tehnološkega razvoja je podobna sedanji, konsistentno s tem je razvito tudi izkoriščanje okolja (oskrba s hrano), poudarek je na izkoriščanju lokalnih virov (v nasprotju z uvoženimi), kar je bližje preteklosti kot sedanjosti,
- ni nobenega zanašanja na izboljšanje tehnik detekcije radiacije ali drugega razvoja znanosti, ki bi omogočila manjšo izpostavljenost sevanju (tako po verjetnosti kot po magnitudi),
- ni nobenega zanašanja na izboljšanje diagnostike in zdravljenja raka in ostalih negativnih učinkov, ki jih lahko povzroči sevanje.

Za odlagališče NSRAO Vrblina, Krško so bile tako privzete naslednje predpostavke:

- Za namen priprave varnostnih analiz je bilo privzeto, da bo obdobje institucionalnega nadzora trajalo 300 let po zaprtju odlagališča. Po tem obdobju nadzora ne bo več (niti aktivnega niti pasivnega) in vedenja o odlagališču in lokaciji ne bo več.
- Doze ocenjene v okviru varnostnih analiz so bile za prvih 10 000 let po zaprtju direktno primerjane z zakonsko omejitvijo. Vsi izračuni so bili opravljeni za tako časovno obdobje, da je v njem bila dosežena maksimalna skupna doza in doza za posamezen radionuklid. V primeru, ko je maksimalna izračunana doza (peak) ocenjena v obdobju daljšem od 10 000 let po zaprtju odlagališča, je ta upoštevana kot kvalitativna ocena. Kar v praksi pomeni, da so bile maksimalne doze, do katerih je prišlo nekaj 100 000 let po zaprtju odlagališča skrbno interpretirane in primerjane z zakonskimi omejitvami.

7.3.3 OPIS SISTEMA

7.3.3.1 *Lokacija odlagališča NSRAO*

Lokacija za odlagališče in njene lastnosti, ki so bile uporabljene v varnostnih analizah so predstavljene v 4. poglavju.

7.3.3.2 *RADIOAKTIVNI ODPADKI – INVENTAR*

Naslednje poglavje povzema opis radioaktivnih odpadkov – inventarja, ki bodo odloženi v odlagališče NSRAO. Podrobneje je inventar opisan v poročilih [19] in [64]. Glavni namen tega poglavja je predstaviti ključne značilnosti odpadkov, ki so vplivale na postopek modeliranja odlagališča.

Radioaktivni odpadki imajo štiri različne izvore, ki so predstavljeni v nadaljevanju:

- odpadki nastali pri razgradnji NEK
- odpadki iz obratovanja NEK
- odpadki skladiščeni v CSRAO (Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov Brinje)
- odpadki nastali pri razgradnji TRIGA reaktorja v okviru IJS
- obratovalni odpadki iz odlagališča NSRAO
- dekomisijski odpadki iz odlagališča NSRAO

7.3.3.2.1 Odpadki glede na tip materiala

Razgradnja NEK

Načrtovani odpadki iz razgradnje NEK naj bi vključevali:

- Aktivirane komponente zaradi nevtronske aktivacije materialov v/ali v bližini reaktorske posode, sama reaktorska posoda, notranji deli reaktorske posode in betonski, biološki ščit,
- Dva uparjalnika iz nikljeve zlitine in ogljikovega jekla,
- Kontaminirane komponente znotraj nadzorovanega in opazovanega območja NEK (kovine in beton),
- Super – kompaktirani, gorljivi odpadki,
- Super – kompaktirani, negorljivi odpadki,
- Tekočine – odplake (utrjene);
- Porušen beton.

Tako volumsko kot po aktivnosti radionuklidov največ doprinese k odpadkom reaktorska posoda.

Obratovanje NEK

Ti odpadki vključujejo radioaktivne odpadke, ki nastajajo pri obratovanju elektrarne, rednih remontih in vzdrževanju, ki vključuje zamenjavo različnih komponent in njihovo nadgradnjo. Ključni tokovi odpadkov nastanejo pri čiščenju primarne hladilene vode iz reaktorja. Iz obratovanja NEK so tako prepoznani naslednji tokovi odpadkov:

- Aktivirano oglje,
- Produkti sežiga (vključujejo tudi ostanke aluminija in težkih kovin),
- Koncentrati izparilnika in posušene blato – usedline,
- Izrabljene smole ionskih izmenjevalnikov,
- izrabljeni filtri,
- Stisljivi odpadki,
- Nestisljivi odpadki.

Pod obratovalne odpadke sodita tudi dva, že zamenjana uparjalnika.

Centralno skladišče Brinje

V Centralnem skladišču v Brinju se nahajajo manjše količine (tako volumsko kot po aktivnosti) RAO. Podobno lahko tudi v prihodnje pričakujemo podobne količine, ki bodo skladiščene v skladišču pred odlaganjem. Ti odpadki vključujejo:

- Izrabljene zaprte vire,
- gorljive in stisljive obratovalne odpadke iz IJS (TRIGA reaktor in vroča celica),
- detektorje dima
- ostali odpadki, ki nastajajo v industriji, raziskovanju...

Ključni materiali so: ogljikovo jeklo, nerjavno jeklo, aluminij, železo, osiromašen uran, celuloza, volna, oblačila in ostali gorljivi odpadki.

IJS

Dominantni odpadki bodo nastali pri razgradnji TRIGA reaktorja in v glavnem vključujejo beton, jeklo in aluminij.

7.3.3.2.2 Inventar radioaktivnih odpadkov

Inventar radioaktivnih odpadkov, privzet za pripravo varnostnih analiz, je bil razdeljen v dva dela. Prvi deli odpadke glede na tip materialov (masa in volumne) drugi pa glede na radionuklide, ki jih odpadki vsebujejo (aktivnost).

7.3.3.2.3 Inventar glede na vrsto materiala

Ocena inventarja glede na vrsto materiala je podana v tabeli Tabela 7-19.

Materijal	NEK obratovadni odpadki, razgradnja 2043 [kg]	NEK odpadki iz razgr., razgradnja 2043 [kg]	IJS (Triga) odpadki iz razgr. [kg]	CSRAO napoved 2050 [kg]	odlagališče obratovanje [kg]	odlagališče odpadki iz razgr. [kg]	skupaj [kg]
aluminij	7,49E+04	4,96E+04	1,53E+03	1,16E+04	7,40E+02	4,95E+02	1,38E+05
antimon	3,80E+01	6,10E+01	0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+02
arzen	5,20E+01	2,67E+02	1,00E+00	4,00E+00	1,00E+00	2,00E+00	3,24E+02
pepel	3,28E+04	1,40E+04				1,40E+02	4,68E+04
bor	1,66E+04	3,39E+03	4,24E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,70E+01	2,05E+04
medenina		3,40E+03				3,50E+01	3,40E+03
kadmij	2,20E+01	8,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,00E+01
celuloza	7,09E+04	9,20E+03		7,00E+03	7,10E+02	9,50E+01	8,71E+04
ogljje	1,81E+04						1,81E+04
krom	3,12E+04	1,07E+05	3,90E+01	8,06E+02	3,00E+02	6,91E+02	1,39E+05
beton		1,70E+06	2,12E+05			8,73E+03	1,91E+06
baker	1,41E+05	1,03E+04	1,30E+01	3,70E+01	1,41E+03	1,00E+02	1,52E+05
ogljikovo jeklo/železo/ostali železni materiali	3,57E+05	2,25E+06	9,00E+03	3,30E+04	3,58E+03	1,70E+04	2,65E+06

Materijal	NEK obratovni odpadki, razgradnja 2043 [kg]	NEK odpadki iz razgr., razgradnja 2043 [kg]	IJS (Triga) odpadki iz razgr. [kg]	CSRAO napoved 2050 [kg]	odlagališče obratovanje [kg]	odlagališče odpadki iz razgr. [kg]	skupaj [kg]
osiromašen uran				1,50E+02			1,50E+02
steklena vlakna	4,11E+03				4,00E+01		4,11E+03
izrabljene ionske smole (organski del)	1,13E+05	4,41E+03				4,50E+01	1,17E+05
svinec	2,15E+02	3,74E+03	0,00E+00	3,00E+00	1,00E+00	4,20E+01	3,95E+03
živo srebro	6,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,00E+00
nikelj	1,84E+04	1,59E+05	1,00E+01	4,56E+02	1,77E+02	9,50E+02	1,78E+05
nikljeve zlitine		1,62E+05				9,20E+02	1,62E+05
organski (mešanica plastika/celuloza)	4,80E+02					9,50E+01	4,80E+02
organski (mešanica plastika/guma)	4,89E+05	9,20E+03			4,90E+03		4,99E+05
organski (ostali)	4,11E+03				4,00E+01	2,00E+01	4,11E+03
ostali	7,20E+04	2,17E+04	5,07E+03		1,43E+03		9,88E+04
selenij	3,00E+01	7,50E+01	0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	1,00E+00	1,06E+02
gošče/koncentrati	9,51E+05						9,51E+05

Materijal	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [kg]	NEK odpadki iz razgr., razgradnja 2043 [kg]	IJS (Triga) odpadki iz razgr. [kg]	CSRAO napoved 2050 [kg]	odlagališče obratovanje [kg]	odlagališče odpadki iz razgr. [kg]	skupaj [kg]
nerjavno jeklo	1,52E+05	3,74E+05		3,70E+03	1,47E+03	2,50E+03	5,30E+05
nedefinirane kovine				1,33E+04			1,33E+04
skupaj	2,69E+06	4,90E+06	2,28E+05	7,01E+04	1,62E+04	3,20E+04	7,88E+06

Tabela 7-19: Masa različnih materialov v RAO

tok odpadkov	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	IJS (Triga) dekom. odpadki [m ³]	CSRAO napoved 2050 [m ³]	odlagališče obratovanje [m ³]	odlagališče dekom. odpadki [m ³]	skupaj [m ³]
Kocentrati izprailnika in gošče	3,90E+03						3,90E+03
Izrabljene ionske smole (SIR)	1,40E+03						1,40E+03
Izrabljeni filtri (SF)	1,50E+02						1,50E+02

tok odpadkov	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	IJS (Triga) dekom. odpadki [m ³]	CSRAO napoved 2050 [m ³]	odlagališče obratovanje [m ³]	odlagališče dekom. odpadki [m ³]	skupaj [m ³]
Stisljivi odpadki (CPW)	2,80E+03				2,70E+01		2,83E+03
Ne – stisljivi odpadki (NCW)	1,60E+03				1,60E+01		1,62E+03
Posebni odpadki (SW)	1,00E+02						1,00E+02
Notranji premični deli reaktorske posode		5,70E+01					5,70E+01
Uparjalnika		4,50E+02 ¹					4,50E+02
Ostali aktiviran material		4,55E+02					4,55E+02
Beton		2,41E+03	3,00E+02			3,60E+00	2,72E+03
Kontaminirane komponente		2,42E+03 ²				6,50E+01	2,49E+03
Gorljivi odpadki		2,40E+02				5,00E+00	2,45E+02
Ne- gorljivi odpadki		3,87E+02				1,00E+01	3,97E+02
Utrjene tekočine (skupaj)		1,39E+03					1,39E+03

¹ Vključena sta dva uparjalnika, ki bosta vključena v razgradnjo

² Vključena sta uparjalnika, ki sta že zamenjana

tok odpadkov	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [m ³]	IJS (Triga) dekom. odpadki [m ³]	CSRAO napoved 2050 [m ³]	odlagališče obratovanje [m ³]	odlagališče dekom. odpadki [m ³]	skupaj [m ³]
Utrjene količine (izrabljene smole, ocena neobdelanih odpadkov)		9,00E+00					9,00E+00
Jeklo			2,40E+01				2,40E+01
Aluminij			1,60E+01	1,60E+02			1,76E+02
Ostalo			1,60E+01				1,60E+01
Nerjaveče jeklo				3,00E+01			3,00E+01
Jeklo				1,00E+02			1,00E+02
Nedoločene kovine				1,00E+02			1,00E+02
Železo in lito železo				1,00E+02			1,00E+02
Osiromašen uran				0,00E+00			0,00E+00
Celuloza				2,00E+02			2,00E+02
Skupaj	9,95E+03	4,95E+03	3,56E+02	6,90E+02	4,30E+01	8,36E+01	1,61E+04

Tabela 7-20: Volumen različnih materialov v RAO

7.3.3.2.4 Inventar glede na radionuklide

Tabela 7-21 navaja inventar radionuklidov, glede na 6 ločenih tokov odpadkov, ki bodo odloženi v odlagališče NSRAO. Kot referenčno leto za obratovalne odpadke iz NEK je privzeto leto 2043, ko naj bi NEK prenehal z obratovanjem. Kot referenčno leto za odpadke iz razgradnje pa je privzeto leto 2049 – 6 let po koncu obratovanja. Pri oceni inventarja je bilo skladno poročilom o inventarju [65] privzeto, da so vrednosti navedene v tabeli konzervativne. V inventar so vključeni le radionuklidi, ki imajo razpolovno dobo daljšo od enega leta in ga v glavnem sestavljajo fisijski produkti, produkti nevtronske aktivacije in trans-uranski elementi. V samih izračunih pa so bili upoštevani tudi radionuklidi v razpadnih vrstah, ki imajo razpolovno dobo krajšo od enega leta.

V smislu inventarja glede na njegovo aktivnost inventar (ocenjen) iz razgradnje NEK za tri velikostne razrede presega inventar iz obratovanja, ta pa približno za dva velikostna razreda preostala dva tokova odpadkov. Približno 90 % aktivnosti obratovalnih odpadkov je zbranih v izrabljenih ionskih izmenjevalnih smolah, pri odpadkih iz razgradnje pa po aktivnosti prevladujejo odpadki iz reaktorske posode.

V okviru varnostnih analiz je bilo predpostavljeno, da je v odlagališče NSRAO odložen celoten inventar. Glede na privzeto metodologijo izvajanja varnostnih analiz na rezultate ne vpliva število zgrajenih silosov. Za varnostne analize so bili tako v modelih bližnje in daljne okolice najprej izračunani pretoki, na katere pa število silosov nimajo vpliva. V sistemskem modelu so bili nato ti parametri upoštevani, skupaj s celotnim inventarjem.

radionuklid	Razpolovna doba [y]	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	IJS (Triga) dekom. odpadki [Bq]	CSRAO napoved 2050 [Bq]	odlagališče obratovanje [Bq]	odlagališče dekom. odpadki [Bq]	Skupaj (Bq)
H-3	1,20E+01	9,86E+08	1,23E+15		5,41E+11	9,45E+03		1,23E+15
C-14	5,70E+03	2,86E+12	4,30E+13	3,51E+10	9,87E+07	2,55E+07	2,40E+07	4,59E+13
Na-22	2,60E+00				5,22E+06			5,22E+06
Cl-36	3,00E+05	2,15E+07	2,54E+11		1,20E+03	1,92E+02	3,00E+06	2,54E+11
Ar-39	2,65E+02			1,39E+08	0,00E+00			1,39E+08
Ca-41	1,00E+05		6,21E+12	1,64E+07	0,00E+00			6,21E+12
Mn-54	<1		1,30E+15				1,60E+09	1,30E+15
Fe-55	2,70E+00	1,88E+12	1,10E+17	6,25E+11	4,10E+09	1,96E+07	5,30E+10	1,10E+17
Ni-59	7,50E+04	1,07E+12		8,51E+08	5,28E+09	9,58E+06		1,08E+12
Co-60	5,30E+00	3,74E+12	9,00E+16	4,36E+12	4,48E+12	3,83E+07	3.10E+10	9.00E+16
Ni-59	7.50E+04		2.10E+14				2.30E+08	2.10E+14
Ni-63	9.60E+01	1.19E+14	3.00E+16	9.71E+10	6.41E+09	1.07E+09	2.60E+10	3.01E+16
Kr-85	1.08E+01				1.30E+11			1.30E+11

radionuklid	Razpolovna doba [y]	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	IJS (Triga) dekom. odpadki [Bq]	CSRAO napoved 2050 [Bq]	odlagališče obratovanje [Bq]	odlagališče dekom. odpadki [Bq]	Skupaj (Bq)
Se-79	3.30E+05	1.75E+08				6.70E+02		1.75E+08
Sr-90	2.90E+01	2.58E+12	5.99E+11		2.34E+10	1.01E+07	1.80E+07	3.20E+12
Nb-93m	1.36E+01			1.80E+05	0.00E+00			1.80E+05
Nb-94	2.00E+04	3.58E+10	3.00E+12	2.00E+06	0.00E+00	3.19E+05	1.70E-02	3.04E+12
Tc-99	2.10E+05	7.13E+10	2.31E+11		1.06E+07	4.38E+05	1.30E+06	3.02E+11
Pd-107	6.50E+06	4.35E+07				1.67E+02		4.35E+07
Ag-108m	4.20E+02	2.06E+09	3.70E+13		3.64E+06	1.84E+04		3.70E+13
Ag110m	<1		2.10E+13					2.10E+13
Cd-109	1.30E+00				3.84E+08			3.84E+08
Cd-113m	1.41E+01		1.10E+13		2.52E+08			1.10E+13
Sb-125	2.80E+00	1.93E+11	1.02E+13		0.00E+00	2.03E+06	4.20E+08	1.04E+13
I-129	1.60E+07	1.30E+08	1.85E+06		1.44E+04	5.02E+02	1.80E+03	1.32E+08
Ba-133	1.05E+01	8.51E+07	2.00E+11	9.36E+09	3.69E+06	8.25E+02		2.09E+11
Cs-134	2.10E+00	2.52E+12	1.61E+11		9.36E+06	1.05E+07	5.10E+07	2.68E+12

radionuklid	Razpolovna doba [y]	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	IJS (Triga) dekom. odpadki [Bq]	CSRAO napoved 2050 [Bq]	odlagališče obratovanje [Bq]	odlagališče dekom. odpadki [Bq]	Skupaj (Bq)
Cs-135	2.30E+05	4.35E+08	8.21E+06		0.00E+00	1.67E+03	8.00E+03	4.43E+08
Cs-137	3.00E+01	2.61E+13	2.57E+12		1.77E+12	1.02E+08	1.20E+09	3.04E+13
Sm-151	9.00E+01	1.09E+11	1.40E+11			4.23E+05		2.49E+11
Eu-152	1.30E+01	1.05E+09	4.50E+12	9.36E+08	7.67E+11	4.19E+03	0.00E+00	5.27E+12
Eu-154	8.80E+00	1.03E+12	2.00E+11	9.24E+07	1.70E+10	4.18E+06	1.30E+05	1.25E+12
Eu-155	5.00E+00	3.96E+11	7.80E+10		2.23E+06	1.64E+06	2.30E+04	4.74E+11
Tl-204	3.80E+00				5.64E+06			5.64E+06
Pb-210	2.10E+01				2.61E+08			2.61E+08
Ra-226	1.60E+03				6.31E+10			6.31E+10
Ra-228	5.70E+00				4.28E+06			4.28E+06
Th-228	1.90E+00				3.72E+08			3.72E+08
Th-232	1.40E+10				8.00E+07			8.00E+07
U-234	2.40E+05	6.09E+07	4.64E+08		0.00E+00	2.34E+02	4.00E+05	5.25E+08
U-235	7.00E+08	1.22E+06	1.85E+07		1.81E+08	4.69E+00	1.80E+04	2.01E+08

radionuklid	Razpolovna doba [y]	NEK obratovalni odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	NEK dekom. odpadki, razgradnja 2043 [Bq]	IJS (Triga) dekom. odpadki [Bq]	CSRAO napoved 2050 [Bq]	odlagališče obratovanje [Bq]	odlagališče dekom. odpadki [Bq]	Skupaj (Bq)
Np-237	2.10E+06	2.44E+07	2.05E+06		0.00E+00	9.37E+01	8.50E+02	2.65E+07
U-238	4.50E+09	2.44E+07	3.94E+08		2.31E+10	9.37E+01	3.90E+05	2.35E+10
Pu-238	8.80E+01	2.70E+10	2.11E+09		0.00E+00	1.05E+05	2.00E+06	2.91E+10
Pu-239	2.40E+04	6.08E+09	1.53E+10		4.28E+09	2.34E+04	5.30E+06	2.57E+10
Pu-240	6.50E+03		3.27E+08		0.00E+00		3.10E+05	3.27E+08
Pu-241	1.40E+01	2.23E+11	1.54E+12		0.00E+00	8.91E+05	2.40E+08	1.76E+12
Am-241	4.30E+02	6.83E+09	3.20E+10		3.23E+11	2.63E+04	3.00E+06	3.62E+11
Am-241/Be	4.30E+02				6.58E+11			6.58E+11
Cm-244	1.80E+01	1.30E+10	1.27E+09		1.06E+10	5.16E+04	1.20E+06	2.49E+10
Totals		1.62E+14	2.33E+17	5.13E+12	8.83E+12	1.30E+09	1.14E+11	2.33E+17

*najvišji prispevki posameznih tokov odpadkov so označeni krepko

Tabela 7-21: Radionuklidi v posameznih tokovih odpadkov

7.3.3.3 Inventar toksičnih snovi znotraj inventarja radioaktivnih odpadkov

Toksične snovi, ki so bile obravnavane znotraj varnostnih analiz so povzete po Poročilu o inventarju radioaktivnih odpadkov [66].

Podrobnejših podatkov o vsebnosti toksičnih snovi znotraj inventarja radioaktivnih odpadkov ni. Zato so bile ocenjene toksične snovi (predvsem težke kovine) glede na možnost njihovega pojavljanja znotraj drugih prepoznanih materialov in prepoznanih količin teh toksičnih snovi znotraj ostalih prepoznanih materialov. Nezanesljivost take ocene je sprejemljiva dokler ocene vpliva količin teh snovi niso blizu ali presegajo dane omejitve.

Osnova za pripravo seznama toksičnih snovi znotraj inventarja je bil Pravilnik o pitni vodi [53], ki navaja seznam toksičnih snovi. Ocenjene količine le teh so po posameznih tokovih odpadkov navedene v Tabela 7-22

	masa toka odpadkov	antimon	arzen	bor	kadmij	krom	baker	svinec	živo srebro	nikelj	selen
nerjavno jeklo	551375	6	55	0	11	11027 5	551	441	0	6616 5	11 0
ogljikovo jeklo	661630 5	165	662	0	0	13233	6616	0	0	2382	0
beton	193130 81	4	39	3862 6	2	1931	386	0	0	579	2
koncentr at sušilnika IDDS	821160	0	0	1642 3	0	0	0	0	0	0	0
koncentr at sušilnika vermikuli t	129600	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0
plastika	511205	23	0	0	15	20	0	5	5	0	0
smole ionskih izmenjevalnikov	117525	5	0	0	4	5	0	1	1	0	0
pepel	46890	0	2	0	1	1	170	125	0	26	0
nikljeve zlitine	162720	0	0	0	0	27662	814	0	0	1139 04	0
medenin a	3435	0	0	0	0	0	3435	0	0	0	0
baker	71290	0	0	0	0	0	7129 0	0	0	0	0
svinec	1720	0	0	0	0	0	0	1720	0	0	0
skupaj		203	757	5527 0	32	15312 8	8326 2	2292	6	1830 56	11 2

Tabela 7-22: Toksične snovi (masa) glede na posamezne tokove odpadkov (vsi podatki so navedeni v kg)

7.3.3.4 Inženirske pregrade

Podrobneje so inženirske bariere predstavljene v 6. poglavju tega osnVP. Ker pa so se določene varnostne analize izdelovale že od leta 2011, ko še ni bilo na voljo Idejnih zasnov [5], so bile le te izdelane na podlagi Idejnega projekta [67]. V nadaljevanju so predstavljene razlike v projektu, ki so bile upoštevane za izdelavo varnostnih analiz in so bile kasneje optimizirane (rešitve so predstavljene v 6. poglavju tega osnVP), razlike pa so glede na vpliv na rezultate varnostnih analiz majhne in bodo upoštevane v naslednji fazi priprave Varnostnega poročila.

Odlagalna enota za odlaganje radioaktivnih odpadkov je silos z notranjim premerom 27,3 m, dno silosa (spodnja kota, kjer se prične z odlaganjem odpadkov) pa je na globini 55 m pod nivojem površja. Sekundarna obloga je izdelana v debelini 1 m. Odpadki so pakirani v sode in zacementirani, kot taki pa odloženi v betonske zabojnike (N3a) - KPE, kamor se lahko odloži 9 TTC kontejnerjev ali 27 200 l ali 320 l sodov. Osnovni podatki o N3a kontejnerju, ki so bili uporabljeni za izračun varnostnih analiz so predstavljeni v naslednji tabeli.

zunanje dimenzije (dxšxv) (m)	2.55 x 2.55 x 3.25
notranje dimenzije (dxšxv) (m)	2.05 x 2.05 x 2.85
debelina sten (m)	0.2 (vrh) – 0.23 (pri dnu)
debelina dna (m)	0.2
dimenzije pokrova (dxšxv) (m)	2.25 x 2.25 x 0.2
celoten volumen (m ³)	21.13
neto volumen (m ³)	12.81

Tabela 7-23: Osnovni podatki o kontejnerju N3a

Zabojniki naj bi bili zloženi v 10 plasti po 70 zabojnikov z medsebojnim razmikom 10 cm. Prazni prostori naj bi bili zapolnjeni z drenažnim polnilom. Zabojniki naj bi bili zloženi v višini 33 m nato pa naj bi bil silos zaprt z betonsko ploščo debeline 1,2 m. Nad ploščo naj bi bila nameščena 5 m debela plast gline, nad njo pa peščeni prod, podoben naravnemu materialu, do površine. Po zaprtju naj bi prišlo do saturacije – nasičenosti silosa na naraven ali umeten način. Razlike, ki so bile upoštevane pri pripravi varnostnih analiz so primerjalno predstavljene v naslednji tabeli, kjer je dodan tudi komentar.

rešitev uporabljena v varnostnih analizah IDP [67]	rešitev iz IDZ [5]	Komentar – vpliv na dolgoročno varnost
uporaba N3a betonskega zabojnika (opis glej v Tabela 7-23)	uporaba N2bV zabojnika (opis glej v Tabela 6-1)	zabojnika se v osnovi razlikujeta le v velikosti, v N3a zabojnik lahko vstavimo 3 x 3 TTC jev v N2b pa 2x 2 TTC ja. V študiji preučitve pomembnosti optimizacij [68] je bila ta sprememba ovrednotena kot nevtralna z vidika tako obratovalne varnosti, kot varnosti po zaprtju.
10 cm vmesni prostori med KPE	20 cm vmesni prostori med KPE	Uporabljenega bo več betona – dodatna varnost.

rešitev uporabljena v varnostnih analizah IDP [67]	rešitev iz IDZ [5]	Komentar – vpliv na dolgoročno varnost
za polnjenje vmesnih prostorov se uporabi drenažni material	za polnjenje vmesnih prostorov se uporabi slabše prepusten material	V študiji preučitve pomembnosti optimizacij [68] je bila ta sprememba ovrednotena kot nevtralna z vidika obratovalne varnosti in kot pozitivna z vidika varnosti po zaprtju.
glineni čep v debelini 5 m nad zaprtim silosom, nato peščeno prodat material do vrha silosa	glineni čep skoraj do površine	V študiji preučitve pomembnosti optimizacij [68] je bila ta sprememba ovrednotena kot nevtralna z vidika obratovalne varnosti po zaprtju.

Tabela 7-24: Primerjava optimizacij, ki so bile upoštevane v varnostnih analizah in v IDZ

Glavni in prevladujoč mehanizem s katerim lahko pridejo radionuklidi iz odlagališča v okolje je gibanje vode, zato je za razvoj ustreznega konceptualnega modela potrebno poznavanje osnovnih geometrij posameznih hidrogeoloških enot, njihovi hidrološki parametri, ter gradienti, zaradi katerih pride do gibanja podzemne vode.

Hidrogeološke enote in njihove lastnosti so podrobno opisane v poglavju 4 tega osnVP. V osnovi pa imamo opraviti z 6 – 9 m debelim odprtim kvartarnim vodonosnikom, pod katerim leži miocenski akviklud, ki predstavlja plast v katerih bo umeščen odlagalni objekt.

V okviru varnostnih analiz je bilo privzeto, da v okviru normalnega razvoja dogodkov geometrija celotnega sistema ostane nespremenjena tudi v obdobju po zaprtju odlagališča. Glede na starost Miocenskih plasti (Miocen – 23,03 – 5,3 milijona let nazaj) lahko z veliko gotovostjo pričakujemo, da bodo te plasti ostale nedotaknjene tudi v prihodnje. Lahko pride do potencialne spremembe nivojev podzemne vode, kar je pokrito s scenarijem spremenjenega razvoja dogodkov. Za fizikalne parametre (prepustnost, poroznost ...) ni predvideno, da se bodo v prihodnosti spreminjali, ravno tako ni predvideno, da bi prišlo do procesov zaradi katerih bi se ti lahko spremenili.

Uporabljeni parametri za modeliranje posameznih sistemov (bližnja, daljna okolica in biosfera) bodo predstavljeni v nadaljevanju pri opisu posameznih podsistemov.

7.3.3.4.1 Varnostne funkcije

Varnostne funkcije za odlagališče NSRAO so predstavljene v poglavju 5.2.8 tega osnVP, v nadaljevanju pa je predstavljena njihova uporaba in interpretacija v okviru varnostnih analiz in ocen.

Pri upoštevanju inženirskih pregrad v varnostnih analizah so bile upoštevane naslednja osnovne varnostne funkcije:

- **P (physical containment) - fizično zadrževanje**, preprečevanje migracije radionuklidov s fizičnimi pregradami,
- **C (chemical containment) - kemično zadrževanje**, preprečevanje migracije radionuklidov s kemičnimi pregradami, z uporabo sorbcije in meje topnosti,
- **H (hydrological) - hidrološki tip**; predstavljajo naravne in umetne pregrade, ki zmanjšujejo pretok podzemne vode skozi odlagališče,

- **I (intrusion) - vdor**; predstavljajo naravne in umetne pregrade, ki zmanjšujejo verjetnost ali vpliv vdora človeka v odlagališče,
- **S (structural stability) - strukturna stabilnost**; uporaba, predvsem betonskih pregrad, za zagotavljanje strukture - geometrije odlagališča,

Tabela 7-25 povzema kako so posamezne varnostne funkcije uporabljene, interpretirane in še podrobneje razdeljene v okviru varnostnih analiz. Iz nje pa lahko vidimo da:

- je varnostna funkcija fizičnega zadrževanja uporabljena dvakrat, od česar je enkrat odvisna od dizajna odlagališča
- funkcija kemičnega zadrževanja uporabljena štirikrat in je v vseh primerih funkcija dizajna,
- varnostna funkcija hidrološkega tipa uporabljena trikrat in je dvakrat posledica dizajna,
- varnostna funkcija preprečevanj vdora uporabljena trikrat, dvakrat zaradi dizajna odlagališča in
- funkcija strukturne stabilnosti uporabljena dvakrat in v obeh primerih posledica dizajna odlagališča.

Iz zgoraj zapisanega lahko vidimo, da več kot 10 podpornih – operativnih varnostnih funkcij izhaja iz dizajna odlagališča, zaradi česar lahko smatramo, da je priporočilo o uporabi večkratnih varnostnih funkcij, ki jih priporoča IAEA [69] in nadomešča starejši več-pregradni koncept, izpolnjeno. Izpolnjena je tudi zahteva po uporabi več različnih – fizikalnih in kemijskih lastnosti.

oznaka	opis pregrade	trajanje pregrade
P1	fizično zadrževanje radionuklidov zaradi jeklenih kontejnerjev - sodov	ocenjeno na podlagi korozije
P2	fizično zadrževanje zaradi betonskih kontejnerjev – KPE	ocenjeno in podano pri opisu modelov
P3	fizično zadrževanje zaradi silosa	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C1	kemično zadrževanje zaradi sorpcije znotraj pripravljenih odpadkov (beton, vermikulit ...)	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C2	kemično zadrževanje zaradi sorpcije znotraj KPE	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C3	kemično zadrževanje zaradi sorpcije znotraj silosa	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C4	kemično zadrževanje zaradi visokega pH-ja vode v okolici silosa in sorpcije RN na beton	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C5	kemično zadrževanje zaradi sorpcije RN na glinasti čep nad zaprtim silosom	ocenjeno in podano pri opisu modelov
C6	kemično zadrževanje zaradi sorpcije na Miocenske sedimente	ocenjeno in podano pri opisu modelov
H1	zmanjševanje pretoka vode iz geosfere skozi odlagališče zaradi betonskih pregrad (konzervativno je predviden je vertikalni tok)	ocenjeno in podano pri opisu modelov
H2	zmanjševanje pretoka vode iz geosfere skozi odlagališče zaradi glinenega čepa (konzervativno je predviden je vertikalni tok)	ocenjeno in podano pri opisu modelov
H3	majhen – nizek pretok skozi miocen (in posledično skozi odložene odpadke) v kombinaciji z večjim pretokom v kvartarnem vodonosniku	ocenjeno in podano pri opisu modelov

I1	zmanjšana verjetnost nenamernega vdora človeka zaradi fizičnih – betonskih pregrad	ocenjeno in podano pri opisu modelov
I2	onemogočen nenamerni vdor človeka v odlagališče zaradi institucionalnega nadzora	300 let
I3	zmanjšana verjetnost nenamernega vdora človeka z namenom iskanja pitne vode zaradi kontrasta v prepustnosti med Miocenskimi in Kvarternimi plastmi	zmanjšana verjetnost nenamernega vdora človeka zaradi
S1	strukturna – seizmična odpornost monolitno odloženih KPE in zapolnjenih praznin	zmanjšana verjetnost nenamernega vdora človeka zaradi
S2	strukturna – seizmična odpornost silosa	zmanjšana verjetnost nenamernega vdora človeka zaradi

Tabela 7-25: Podporne – operativne varnostne funkcije inženirskih pregrad

7.3.4 RAZVOJ SCENARIJEV IN NJIHOVO OVREDNOTENJE

Razvoj scenarijev po zaprtju odlagališča NSRAO je povzet po poročilu o razvoju scenarijev [70] v okviru varnostnih analiz.

Scenariji v okviru varnostnih analiz predstavljajo možna stanja celotnega odlagalnega sistema v prihodnosti in kot taki vsebujejo nezanesljivosti, ki jih vključujejo prihodnja stanja sistema. V preteklosti se je na podlagi dobre mednarodne prakse razvil postopek razvoja scenarijev za odlagališča RAO. Ta je sestavljen iz štirih delov:

- identifikacija podrobnega seznama značilnosti, dogodkov in procesov (FEP),
- presejanje podrobne liste FEPov, dokler ne dobimo ustreznega nabora,
- opis relacij med FEPi,
- razvoj scenarijev oz. računskih modelov

FEPi predstavljajo dobro osnovo za nadgradnjo varnostnih analiz in ocen v vsaki življenjski dobi odlagališča oz. fazi priprave ali nadgradnje varnostnih analiz. Lahko se zgodi, da zaradi pridobitve novih podatkov identificiramo v postopku razvoja scenarijev nove FEPe in na podlagi tega nove scenarije in modele.

V preteklosti so se tako pričeli razvijati sezname FEPov ki jih je IAEA v okviru ISAM projekta [46] povzela in pripravila zelo podrobno listo FEPov za pri površinska odlagališča NSRAO.

Tehnike presejanja seznamov FEPov lahko razdelimo v tri skupine:

- na osnovi verjetnosti,
- na osnovi posledic in
- na osnovi ekspertne ocene.

Za odlagališče NSRAO Vrblina Krško je bila kot najprimernejša izbrana metoda na osnovi ekspertne ocene [70]. FEPi so na ta način izbrani tako, da kar najbolj predstavijo možen razvoj lokacije in odlagališča, ki ga scenariji opisujejo. Ko so enkrat izbrani FEPi, jih je potrebno povezati v scenarije. Tudi v ta namen so bile razvite različne metode (uporaba seznamov, drevesnih struktur, diagramov, matrik ...). Za odlagališče NSRAO so bili scenariji identificirani s pomočjo ekspertne presoje, scenariji pa razviti v konceptualne modele. Zaradi zagotavljanja sledljivosti in transparentnosti procesa je bila razvita posebna FEP baza, ki je dostopna za vse sodelujoče na projektu in služi kot osnova za izbiro FEPov in razvoj scenarijev. Baza je

podrobno predstavljena v dodatkih B in C poročila o razvoju scenarijev v okviru varnostnih analiz [70].

Kot prvi korak presejanja FEPov je bila, na osnovi mednarodno priznane ISAM FEP liste[46], pripravljena baza, ki omogoča, da različni uporabniki, v tej fazi predvsem strokovnjaki, ki pripravljajo varnostne analize preučijo posamezne FEPE in jih vključijo ali izključijo iz nadaljnje analize. Izključevanje FEPov temelji na 4. kategorijah izključitve. To so:

- FEPi za katere je jasno razvidno, da niso relevantni za to varnostno oceno. Kot primer takih FEPov so za odlagališče NSRAO FEPi, ki so povezani z izpusti v morsko okolje.
- FEPi, ki niso relevantni zaradi izbrane vsebine varnostne ocene. V to kategorijo spadajo FEPi, ki so povezani z neko skupinsko oceno doze, saj v našem primeru ocenjujemo predvsem doze na posameznika. V principu lahko ti FEPi postanejo aktualni v naslednjih fazah, če se seveda spremeni vsebina varnostne ocene.
- FEPi za katere je ocenjeno, da niso pomembni. Nepomembnost je ocenjena na podlagi izbire odlagalnega koncepta ali zaradi tega, ker že ostali FEPi vključujejo posledice v smislu obnašanja celotnega odlagalnega sistema. Kot primer takega FEPA je FEP 1.4.04 rudarjenje in ostale podzemne aktivnosti. Presejanje te vrste FEPov zahteva več presoje in jim je bila zato posvečena večja pozornost.
- FEPi, ki niso upoštevani, ker o njih ni nobenih informacij in za katere je nerazumno pričakovati, da bodo na voljo informacije o njih v prihodnosti. Kot primer takega FEP je FEP 2.1.10 Biološki in biokemični procesi in pogoji v bližnji okolici odlagališča. Presejanje te vrste FEPov zahteva največ strokovne presoje in jim je bila zato posvečena največja pozornost.

Posamezni FEPi vključeni ali izključeni iz razvoja scenarijev so opisani v dodatku A poročila o razvoju scenarijev v okviru varnostnih analiz [70].

Scenariji za odlagališče NSRAO so bili razviti tako, da so bile upoštevane najbolj pomembne posledice, tako v obdobju normalnega kot spremenjenega razvoja. Pričakovati je, da bodo še podrobnejše analize FEPov in razvoj scenarijev v prihodnje ugotovili le manjša odstopanja od scenarijev razvitih v tej fazi. V okviru razvoja scenarijev za odlagališče NSRAO so bili tako prepoznani naslednji scenariji:

- Scenariji normalnega razvoja dogodkov:
 - o Nominalni scenarij,
 - Različica nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad,
 - Različica nominalnega scenarija brez vodnjaka,
 - Različica nominalnega scenarija s konzervativno predpostavko uporabe vodnjaka za črpanje vode,
- Scenariji spremenjenega razvoja dogodkov:
 - o Scenarij zgodnje porušitve inženirskih pregrad (propad vseh umetnih barier – paketi odpadkov, KPE, polnila, silos, glineni čep),
 - o Scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad,
 - o Scenarij meandriranja reke in površinske erozije,
 - o Scenarij spremembe hidroloških pogojev.

Predpostavke posameznih scenarijev so prikazane v naslednji tabeli, bolj podrobno pa so scenariji predstavljeni v okviru opisa modelov za posamezne scenarije.

Scenarij	Bližnja okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.2 tega osnVP)	Daljna okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.3 tega osnVP)	Biosfera (Poglavje 7.3.5.4 tega osnVP)
Nominalni scenarij	Privzet je istočasen pričetek razpadanja inženirskih pregrad (glej model Poglavje 7.3.5.1.2 tega osnVP)	Transport potencialne kontaminacije do vodonosnika, ki se drenira – izteka v reko Savo, 100 m od odlagališča v smeri kontaminacije je izvrtan vodnjak.	100 % vse popite vode (ljudje) pride iz izvrtanega vodnjaka. 100 % vseh zaužitih rib je iz reke Save. Predvideno je namakanje poljščin z vodo iz reke, namakanje z vodo iz vodnjaka ni predvideno. Živina se napaja z vodo iz reke. Vse zaužite poljščine, meso in mleko je iz področja, ki se namaka. 100 % časa ljudje preživijo na območju.
Različica nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad	Privzeto je zaporedno razpadanje inženirskih pregrad (glej model Poglavje 7.3.5.1.1 tega osnVP)	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju.
Različica nominalnega scenarija brez vključenega vodnjaka	Enako kot v nominalnem scenariju.	Transport potencialne kontaminacije do vodonosnika, ki se drenira v reko Savo, brez vodnjaka, ki črpa vodo iz vodonosnika.	Enako kot v nominalnem scenariju, razen, da ljudje pijejo vodo v 100 % iz reke.
Različica nominalnega scenarija s konzervativno predpostavko uporabe vodnjaka za črpanje vode	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju ljudje popijejo 100% vode iz vodnjaka in 100% zaužitih rib ujamejo v reki Savi. Vodnjak se uporablja še za dve dodatni funkciji: za namakanje zelenjave in napajanje živine. V primeru namakanja z vodo iz vodnjaka

Scenarij	Bližnja okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.2 tega osnVP)	Daljna okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.3 tega osnVP)	Biosfera (Poglavje 7.3.5.4 tega osnVP)
			je privzeto da najbolj izpostavljeni posameznik preživi 500 ur na leto na področju namakanja.
Zgodnja porušitev inženirskih pregrad	Privzeto je, da vse komponente inženirskih pregrad (ne samo propad betona, temveč tudi pospešitev korozije in ostalih degradacijskih procesov) podležejo hitremu razpadu ob koncu institucionalnega nadzora. Pri izračunih je upoštevana visoka prepustnost in visoka hitrost izluževanja radionuklidov) Scenarij bi lahko poimenovali scenarij brez inženirskih pregrad)	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju.
Zgodnja porušitev betonskih pregrad	Privzeto je, da samo betonske komponente podležejo hitremu razpadu ob koncu institucionalnega nadzora. Pri izračunih je upoštevana visoka prepustnost.	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju.
Meandriranje reke in površinska erozija	Enako kot v nominalnem scenariju.	Privzeto je, da se v skupnem modelu model daljne okolice ne upošteva, kar ponazarja, da erozija odnese ves naravni material okoli odlagališča. Potencialni izpusti so direktno v reko Savo. Vodnjaka ni.	Enako kot v nominalnem scenariju le da 100% popite vode pride iz reke.
Sprememba hidroloških pogojev	Enako kot v nominalnem scenariju, le da je gradient v modelu bližnje okolice spremenjen (hitrosti pretoka vode ob in skozi odlagališče so drugačne).	Enako kot v nominalnem scenariju.	Enako kot v nominalnem scenariju.
Nenameren vdor človeka	Zaradi globine silosa je edini možni scenarij vdora scenarij vrtanja. Verjetnost za ta scenarij je zelo majhna, saj je zelo malo razlogov, da bi kdo vrtal do globine silosa. Pri vrtanju pride do izkopa zelo majhne		

Scenarij	Bližnja okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.2 tega osnVP)	Daljna okolica odlagališča (Poglavje 7.3.5.3 tega osnVP)	Biosfera (Poglavje 7.3.5.4 tega osnVP)
	količine odpadkov, pri tem pride do obsevanja vrtalcev. Predvideno je, da se, po izvedbi vrtanja, izvrtani material raztrese po območju premera 29 m in da je debelina kontaminirane cone 15 cm. Po vdoru se območje pusti brez nadzora in na območje se naseli družina in na lokaciji zgradi kmetijo. Zaradi kmetijske dejavnosti se kontaminacija razširi na 2 500 m ² . Zaradi tega so predstavniki družine izpostavljeni kontaminirani hrani, ki jo zaužijejo, kontaminiranemu zraku zaradi vdihavanja in zunanji radiaciji zaradi radionuklidov v zemlji.		

Tabela 7-26: Pregled predpostavk za posamezne scenarije obravnavane v okviru varnostnih analiz

Naslednja tabela prikazuje kateri FEPI so bili vključeni v razvoj posameznih scenarijev.

Scenarij	FEPI iz katerih so bili razviti scenariji (v oklepaju so številke scenarijev iz Mednarodne liste FEPov [71])
Zgodnja porušitev inženirskih pregrad	<p>Seizmika (Številka 1.2.03)</p> <p>Materiali iz katerih so odpadki in njihove forme, značilnosti in degradacijski procesi (Številka 2.1.02)</p> <p>Materiali zabojnikov, značilnosti in degradacijski procesi in napake (Številka 2.1.03)</p> <p>Polnilni in tesnilni materiali, značilnosti in degradacijski procesi (Številka 2.1.04)</p> <p>Značilnosti sistemov inženirskih pregrad in degradacijski procesi (Številka 2.1.05)</p> <p>Hidravlično – hidrogeološki procesi in pogoji (v odpadkih in inženirskih pregradah) (Številka 2.1.08)</p> <p>Viri nastajanja plinov in učinki (v odpadkih in inženirskih pregradah) (Številka 2.1.12)</p>
Meandriranje reke in površinska erozija	<p>Erozija in sedimentacija (Številka 1.2.07)</p> <p>Hidrološki in hidrogeološki odziv na geološke spremembe (Številka 1.2.10)</p>
Nenameren vdor človeka	Vrtalne aktivnosti (vdor človeka) (Številka 1.4.03)

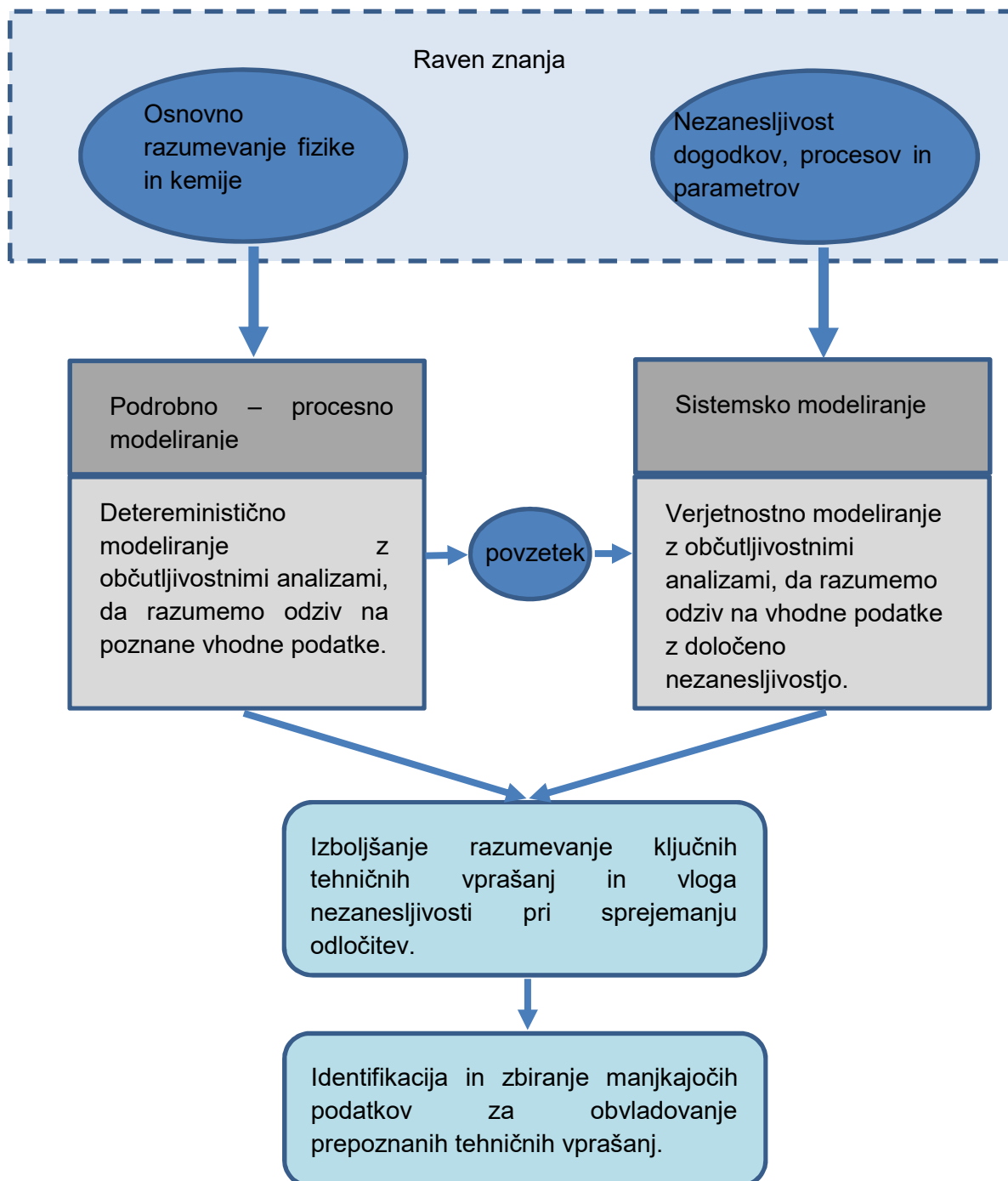
Scenarij	FEPi iz katerih so bili razviti scenariji (v oklepaju so številke scenarijev iz Mednarodne liste FEPov [71])
Sprememba hidroloških pogojev	<p>Erozija in sedimentacija (Številka 1.2.07)</p> <p>Hidrološki in hidrogeološki odziv na geološke spremembe (Številka 1.2.10)</p> <p>Globalne klimatske spremembe (Številka 1.3.01)</p> <p>Regionalne in lokalne klimatske spremembe (Številka 1.3.02)</p> <p>Hidrološki in hidrogeološki odziv na klimatske spremembe (Številka 1.3.07)</p> <p>Vpliv človeka na klimo (Številka 1.4.01)</p> <p>Ravnanje z vodami (vodnjaki, zaježitve, nasipi) (Številka 1.4.10)</p>

Tabela 7-27: FEPi iz katerih so bili razviti scenariji

7.3.5 OBLIKOVANJE IN IMPLEMENTACIJA MODELOV

Oblikovanje in implementacija modelov je podrobneje opisana v poročilu o modelih [72], naslednje poglavje poročilo le povzema.

Pristop z modeliranjem je potreben tako za scenarij normalnega razvoja, kot scenarije spremenjenega razvoja, predvsem zato, da se ovrednotijo potencialne prejete doze zaradi odlagališča v prihodnosti v primerjavi z zakonskimi omejitvami, ter da se bolje razume razvoj nezanesljivosti v prihodnosti. Pristop k modeliranju je bil razdeljen na dva dela, ki vsak zase doprinaša k prej opisanim ciljem. Prvi del nam pomaga razumeti kako se sistem obnaša v podrobnostih, ko upoštevamo strokovno poznavanje fizikalnih in kemijskih procesov in funkcij odlagalnega sistema. To dosežemo s pomočjo podrobnih procesnih modelov za posamezna področja odlagalnega sistema (bližnja okolica, daljna okolica, biosfera). Z drugim delom pa moramo predstaviti celoten pogled na sistem nezanesljivosti ob danih robnih in začetnih pogojih. Za ta namen potrebujemo sistemske modele, ki so numerično bolj učinkoviti, vendar še vedno, v zadostni meri, opisuje naše poznavanje celotnega sistema. Relacije med obema deloma opisuje naslednja slika (Slika 7-22). Podrobni procesni modeli nam omogočajo razumevanje posameznih elementov sistema. Specifični izhodni podatki iz procesnih modelov so nato ustrezno povzeti in uporabljeni kot vhodni podatki za sistemski model.



Slika 7-22: Kombinirana uporaba podrobnih procesnih modelov in sistemskega modela [72]

Zgoraj opisan pristop je bil uporabljen tudi za odlagališče NSRAO in sicer so bili v okviru procesnih modelov uporabljeni:

- različnim možni modeli degradacije inženirskih pregrad (Poglavje 7.3.5.1 tega osnVP),
- programsko orodje HYDRUS, za modeliranje toka skozi silos za različne stopnje degradacije inženirskih pregrad,
- programsko orodje FEFLOW za modeliranje toka v daljni okolici odlagališča,
- programsko orodje ECOLEGO za modeliranje biosfere.

Rezultati procesnih modelov so bili povzeti in ustrezno implementirani, kot vhodni podatki, v sistemski model, ki je bil postavljen v programskem orodju ECOLEGO.

Opis posameznih programskih orodij, ter dokazovanje njihove upravičenosti uporabe za pripravo varnostnih analiz za objekt, kot je odlagališče NSRAO (validacija programov), je predstavljena v posebnem poročilu [40].

7.3.5.1 Model degradacije inženirskih pregrad

Podrobno je razvoj degradacije inženirskih pregrad predstavljen v poročilu [73], pripravljenem v okviru varnostnih analiz. V nadaljevanju poglavja je predstavljen povzetek tega poročila.

Osnovni konceptualni model, ko govorimo o inženirskih pregradah (to je predvsem beton in betonu sorodni materiali) je, da beton na začetku nepoškodovan, slabo vodoprepusten, kot je načrtovan v projektu. Hidravlična prevodnost silosa, končnih pakirnih enot in polnilnega materiala se s časom povečuje zaradi različnih mehanizmov degradacije. To pomeni, da na začetku privzamemo načrtovano prepustnost, ki pa se s časom zaradi degradacije povečuje in po nekem času doseže prepustnost grušča ali proda z vidika toka vode. Beton tudi v tem času (ko razpade) ohrani nekatere kemične lastnosti (predvsem sorpcijo – visok pH) in še vedno upočasnjuje tok radionuklidov iz odlagališča.

Za odlagališče NSRAO Vrblina, Krško so predvideni podzemni odlagalni objekti, ki bodo po zaprtju v nasičeni coni, pod nivojem podzemne vode, kar s kemijskega vidika pomeni, da bodo pregrade in odpadki dolgoročno v pogojih brez prisotnosti kisika.

V naslednji tabeli so prikazane osnovne začetne lastnosti betona, kot so bile povzete po idejnem projektu [67].

Parameter	Vrednost	Referenca
Trdnostni razred	C25/30	SIST EN 1992
Razredi izpostavljenosti	XC4, XA3	SIST EN 1992, SIST EN 206-1 and SIST 1026
Vodotesnost (odpornost proti prodoru vode)	PV-III	SIST EN 206-1 and SIST 1026
Notranja odpornost za zmrzovanje/tajanje	Min 100 cycles	SIST 1026
Vsebnost kloridov v betonu	CL 0,10	SIST EN 206-1
Odpornost na obrabo	Min XB1	SIST EN 206-1 and SIST 1026
Debelina krovnege sloja	Min 40 mm	SIST EN 1992
Kriterij za omejitev razpok	Max 0,1 mm	[74][74]
Vodocementni faktor v/c	< 0,45	[74][74]

Parameter	Vrednost	Referenca
Premer maksimalnega zrna D _{max}	64 mm	
Armatura	S 500 C	SIST EN 1992, Appendix C

Tabela 7-28: Osnovne začetne lastnosti betona povzete po Idejnem projektu [67]

Na podlagi začetnih lastnosti so bili določeni [73] parametri začetni (nepoškodovan) beton in degradiran beton. Ti parametri so za začetni beton:

- poroznost $n_0 = 0,33$
- efektivni koeficient difuzije za ne sorptivne raztopine $D_{eff0} = 1,9 \text{ E-}12 \text{ m}^2/\text{s}$
- začetna hidravlična prevodnost $K_0 = 1 \text{ E-}09 \text{ m/s}$

Privzeto je bilo, da ima beton, ko doseže končno stanje degradacije – razpada, podobne lastnosti kot pesek. Te pa so:

- poroznost $n_d = 0,3$
- efektivni koeficient difuzije za ne sorptivne raztopine $D_{effd} = 1 \text{ E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$
- začetna hidravlična prevodnost $K_{0d} = 1 \text{ E-}04 \text{ m/s}$

V okviru varnostnih analiz so bili preučeni naslednji mehanizmi degradacije:

Sulfatni in magnezijev napad

- Sulfatni in magnezijev napad povzročijo sulfati in magnezij v vodi, ki pridejo v kontakt z betonom. Pride do kemijske reakcije, kjer sulfati in magnezij prodrejo površino betona in ga oslabijo. Pri tem pride do nekakšne korozije površine betona, ko površina odreagira, izgubi svojo trdnost in odstopi, pri tem pa je spet na voljo nova površina za napad. Pri tem pride do zmanjšanja debeline betona v odvisnosti od časa. Na podlagi modela predstavljenega v poročilu o razvoju sistema inženirskih pregrad [73] je bilo ocenjena hitrost razpada betona zaradi sulfatnega in magnezijevega napada na $8,7 \text{ E-}02 \text{ mm/l}$, kar pomeni, da bi prišlo zaradi tega mehanizma degradacije, do razpada betona v debelini 1 m v približno 11 000 letih. Pri razpadu, pride, kot je omenjeno že zgoraj, do luščenja betona, zato ostane beton pod tem intakten in ohrani skupno prepustnost in difuzivnost, dokler se sama debelina betona občutno ne zmanjša. Zato varnostne analize ocenjujejo, da v 10 000 letih sulfatni in magnezijev napad ne bo imel pomembnega vpliva na varnostne funkcije, ki jih opravlja odlagalni silos.

Izluževanje kalcijevega hidroksida

- Ko podzemna voda pronica skozi beton, lahko pride do izluževanja, ki lahko pomembno vpliva na lastnosti betona v daljšem obdobju. Pri tem procesu pride do izluževanja v vodi topnih komponent, kot je Ca(OH)_2 . Ob takem izluževanju beton zgublja tlačno trdnost, narašča pa poroznost in s tem prepustnost. V varnostnih analizah je bil za model izluževanja privzet model »shrinking core model« [75], ki predpostavlja, da je izluževanje – odvzemanje kalcija in notranje strukture betona

hitreje kot prehod kalcija skozi beton. Globina izluženosti betona je bila ocenjena na podlagi enačbe Enačba 7-5:

$$X = \left(2D \frac{C_i - C_{gw}}{C_s} t \right)^{1/2},$$

Enačba 7-5: Enačba za določitev globine izluženosti betona [76]

Kjer pomenijo [77]:

X globina

D koeficient difuzije Ca^{2+} ionov v betonu

C_i koncentracija Ca^{2+} ionov v porah

C_{gw} koncentracija Ca^{2+} ionov v podzemni vodi

C_s koncentracija Ca^{2+} ionov v trdnem betonu

V okviru varnostnih analiz [73] je bilo tako ocenjeno, da je ta proces v primeru odlagališča NSRAO dokaj počasen, saj naj bi v 10 000 letih prišlo do izluženosti betona 2 cm v globino.

Alkali – silika agregatna reakcija

- Ta reakcija je zelo kompleksna in pri njej pride do nabrekanja – raztezanja, zaradi tega se struktura betona poruši in pride do povečanja prepustnosti. To pa lahko vodi v strukturno porušitev zaradi ostalih procesov degradacije (npr. sulfatno magnezijevega napada). Do neke mere vsi agregati uporabljeni pri izdelavi betonov kemično reagirajo s cementno pasto. Kemični proces pri alkali – silika reakciji je dobro poznan [78]. Glavni sestavine reakcije so hidroksidne alaklijeve soli v cementni pasti in potencialno reaktivna silika v agregatu. Ko pride do reakcije, zaradi nabrekanja, pride do razpok v betonu. V varnostnih analizah [73] je predpostavljeno, da se bo pri izgradnji odlagališča uporabila dobra praksa pri uporabi betonov (predvsem pri izbiri agregatov) in da lahko posledice alkali – silika agregatne reakcije pri degradaciji betona zanemarimo.

Karbonatizacija

- Karbonatizacija je proces pri katerem pride do zmanjševanja pH ja porne vode, zaradi spreminjanja kalcijevega hidroksida v kalcijev karbonat, zaradi reakcije z ogljikovim dioksidom. Reakcijo spremlja sprememba mikrostrukture betona. Karbonatizacija je bolj prisotna v primeru, ko se beton nahaja v z vodo nasičenem okolju, ta doseže maksimum pri 50 % relativni vlagi, potem pa pade. Za reakcijo mora biti prisoten tudi ogljikov dioksid. Do največje karbonatizacije po tako prihajalo v času obratovanja odlagališča – silosa. Varnostne analize [73] tako ugotavljajo, da lahko v silosu pride med obratovanjem do karboantizacije nekje do globine 7 – 8 mm, kar je malo v primerjavi z debelino silosne stene. Lastnosti podzemne vode na lokaciji odlagališča so podane v 4. poglavju tega osnVP.

- Po zaplnitvi in zaprtju silosa bo silos popolnoma nasičen z vodo in bo karbonatizacija odvisna od koncentracije ogljikovega dioksida v okolici. Karboantizacija bo zato počasna, bo pa doprinesla k dodatnemu razpokanju betona. Znižanje lokalnega pH ja pa bo pripeljalo do okolja z večjim potencialom za korozijo armature, ki je opisana v enem od naslednjih poglavij.

Kislinski napad

- Do tega napada pride, ko je beton izpostavljen podzemni vodi ali ostali virom vode z nizkim pH jem. Kislina izluži topne komponente v betonu (Ca(OH)_2) in beton zato izgubi svojo strukturno odpornost in poveča se mu poroznost. Rezultati terenskih raziskav [79] kažejo, da je pH podzemne vode v okolici odlagališča blizu nevtralnemu, zato degradacije zaradi kislinskega napada ni pričakovati [73].

Korozija

Ogljikova jekla

- Ko pride do korozije armature (ogljikova jekla), imajo korozijski produkti večji volumen, kot korodirana kovina, zaradi tega prihaja do nabrekanja in pokaanja betona. S tem raste tudi prepustnost betona.
- Hitrost korozije je v glavnem odvisna od pH ja in v manjši meri od koncentracije kloridov. Ker bo v odlagališču veliko betona bo pH porne vode dokaj visoka, zniževal jo bo le proces hidratizacije opisan zgoraj. ravno tako so koncentracije kloridov v miocenski vodi okoli odlagališča nizke. Varnostne analize [73] so tako za hitrost korozije privzele vrednost 10^{-7} m/leto. Ker pride pri koroziji do nabrekanja in s tem do poškodbe betona, je privzeto, da pride do popolne degradacije betona, ko pride do 25 – 50 % korozije armature. To pomeni, da bo prišlo do popolnega razpada betona zaradi korozije armature (debeline 1 cm) po 12 500 – 25 000 letih.

Nerjavno jeklo

- Kar nekaj odloženih odpadkov v odlagališče bo iz nerjavnega jekla. Ta korodira drugače kot ogljikova jekla. Produkti korozije ne zasedejo večjega volumna kot osnovna kovina in zato ne prihaja do nabrekanja in pokaanja betonov. Poleg tega so tudi hitrosti korozije veliko manjše. To pomeni, da korozija nerjavnega jekla ne vpliva toliko na propadanje betona, pa tudi počasneje pride do izločanja aktivacijskih produktov v odpadkih iz nerjavnega jekla. Za potrebe varnostnih analiz je bil tako privzet koeficient korozije za nerjavna jekla v vrednosti 0,01-2 $\mu\text{m}/\text{leto}$ [73].
- Posebna pozornost je bila namenjena koroziji reaktorske posode – dodatek 1 v poročilu o razvoju inženirskih pregrad v okviru priprave varnostnih analiz [73], saj je od korozije reaktorske posode odvisen izpust radionuklidov iz aktiviranih kovin. Predvideno je, da se bo reaktorska posoda pred odlaganjem razrezala in odložila najprej v 200 l sode nato pa v končne pakirne enote. V poročilu je bilo ocenjeno, da bo zaradi korozije prišlo do 50% izgube mase kovin (ogljikovo jeklo) z aktiviranimi radionuklidi v obdobju od 8 250 – 165 000 let po zaprtju odlagališča, za nerjavna jekla pa v obdobju od 165 000 – 165 000 000 let po zaprtju odlagališča. Pri tej oceni so bili privzeti konzervativni koeficienti korozije.

Na podlagi preučitve zgoraj opisanih mehanizmov degradacije, sta bila v okviru varnostnih analiz [73] razvita dva modela razpada inženirskih barier. V prvem (sekvenčni razpad inženirskih pregrad) je bilo privzeto da betonske pregrade (silos, končna pakirna enota, polnilo v KPE) pričnejo propadati od zunaj navznoter, ko do njih pride podzemna voda iz miocenskih plasti. Ko pride do propada silosa, voda lahko prodre do KPE in ko ta propade do odpadkov. V tem modelu notranje pregrade ostanejo nedotaknjene dokler ne propadejo zunanje pregrade.

V drugem modelu (simultan razpad inženirskih pregrad) je privzeto, da vse pregrade pričnejo degradirati takoj po zaprtju odlagališča s podobno – enako hitrostjo. Ta model je bolj konservativen od prvega, je lažji za analizo in verjetno bolje predstavlja razpad v anaerobnih pogojih.

7.3.5.1.1 Sekvenčni razpad inženirskih pregrad

Model sekvenčnega razpada inženirskih pregrad je shematsko prikazan v naslednji tabeli (Tabela 7-29), detajlno pa opisan v poročilu varnostnih analiz [73]. Časovna obdobja so bila ocenjena na podlagi mehanizma karbonatizacije v betonu.

Časovno obdobje [let]	Silos	KPE	Odpadki pripravljeni na odlaganje
$t < 220$	nepoškodovan	nepoškodovan	Nepoškodovan
$220 < t < 660$	Postopna degradacija do $t = 12,700$	Postopna degradacija do 1040	Nepoškodovan
$660 < t < 1040$	Postopna degradacija do $t = 12,700$	Postopna degradacija do 1040	Nepoškodovan
$1040 < t < 6000$	Postopna degradacija do $t = 12,700$	Popolna degradacija	Nepoškodovan
$6000 < t < 6650$	Postopna degradacija do $t = 12,700$	Popolna degradacija	Postopna degradacija do 6650
$t > 6650$	Postopna degradacija do $t = 12,700$	Popolna degradacija	Popolna degradacija

Tabela 7-29: Razpad inženirskih pregrad, kot je predpostavljeno v sekvenčnem razpadu inženirskih pregrad

7.3.5.1.2 Simultan razpad inženirskih pregrad

V tem primeru korozije armature povzroči degradacijo betonskih pregrad takoj po zaprtju odlagališča NSRAO. V modelu je privzet koeficient korozije 10^{-7} m/leto, v skladu z visokim pH in anaerobnimi pogoji, ki bodo v odlagališču po zaprtju. Model ne upošteva procesa karbonatizacije, predvsem zaradi tega ker:

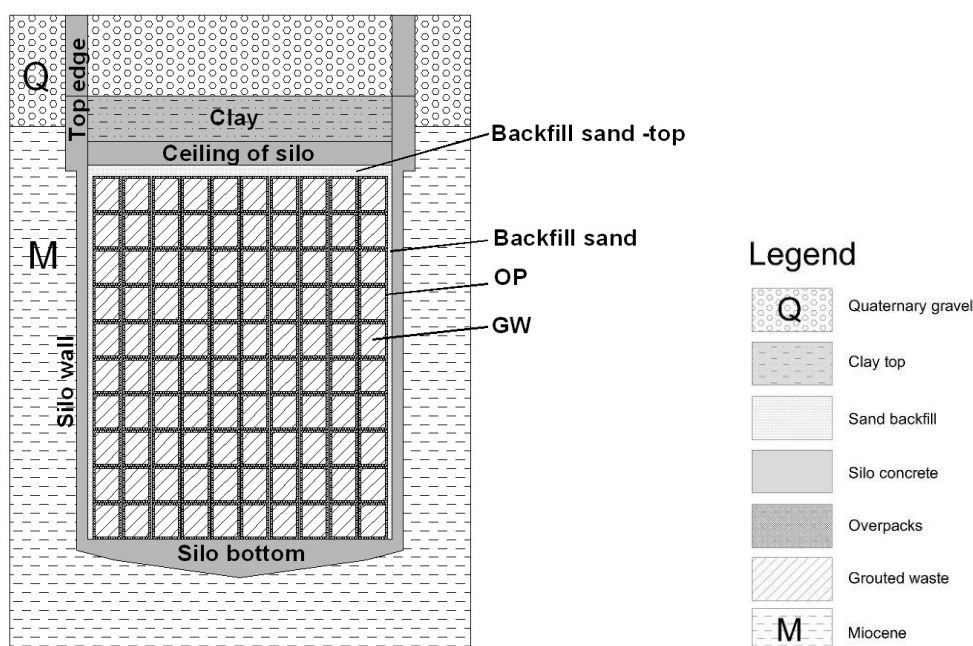
- je v miocenski vodi okoli odlagališča majhna koncentracija ogljikovega dioksida,
- zaradi karbonatizacije pride do zamašitve por in nastanka kalcitno – brusitne plasti, ki še izboljša konstrukcijske lastnosti betona.

Do popolne degradacije betona pride tako po 12 500 – 25 000 letih po zaprtju odlagališča. To pomeni, da je bilo v varnostnih analizah privzeto, da se lastnosti betona postopno – linearno spreminjajo od začetne – projektne vrednosti, do končnih vrednosti, kot jo ima popolnoma razpadel beton in ima podobne lastnosti kot pesek.

7.3.5.2 Model bližnje okolice odlagališča

Model bližnje okolice odlagališča predstavlja odlagalni silos in nekaj metrov naravnega materiala okoli silosa in je bil modeliran s programskim orodjem HYDRSU – 2D/2D, ki je programski paket, ki rešuje Richardovo enačbo toka in enačbo advekcije – disperzije za toploto in raztopljene snovi v spremenljivo nasičenem podzemnem mediju s pomočjo metode končnih elementov. Zaradi predpostavke, da je silos ob času 0 (takoj po zaprtju) že popolnoma nasičen se Richardova enačba poenostavi v Darcyjevo enačbo, ki opisuje tok podzemne vode. Model bližnje okolice je podrobno opisan v poročilu o modelu bližnje okolice [80] v nadaljevanju tega poglavja pa je prikazan le povzetek.

Model bližnje okolice odlagališča zajema sam odlagalni silos in nekaj metrov okoli njega. Konceptualno je model prikazan na naslednji sliki (Slika 7-23).



Slika 7-23: Konceptualni model bližnje okolice odlagališča (kjer pomeni OP – betonski zabojnik, GW – utrjeni odpadki)

Model bližnje okolice je bil izveden za 4 faze degradacije inženirskih pregrad, pri čemer časovna komponenta ni pomembna, saj je čas obravnavan kot spremenljivka v sistemskem modelu. Ključna naloga modela je bila pridobiti hitrosti toka snovi ob različni predpostavkah degradacije inženirskih pregrad in ostalih robnih in začetnih pogojev.

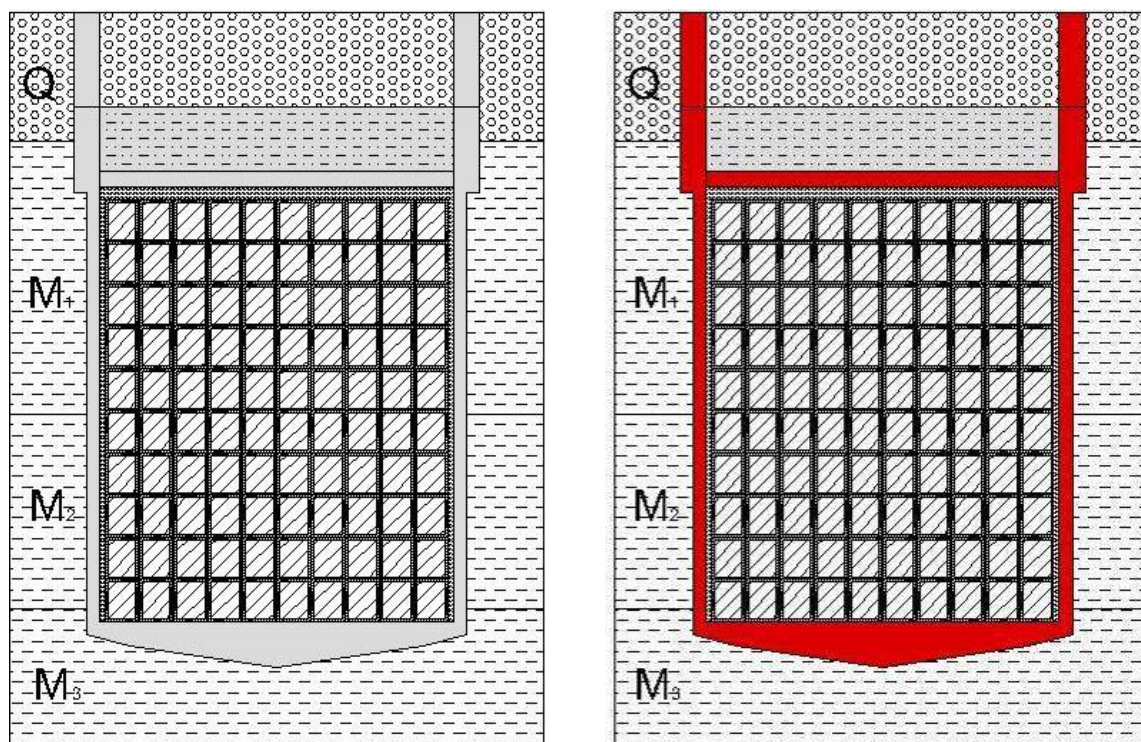
Prvo stanje (K_1 v tabeli Tabela 7-30) predstavlja odlagališče v začetnem – intaktnem stanju s projektnimi karakteristikami materiala. V 2. stanju (K_2 v tabeli Tabela 7-30) pride do degradacije silosa, v 3. stanju (K_3 v tabeli Tabela 7-30) do degradacije KEP in v 4. stanju (K_4 v tabeli Tabela 7-30) do popolne degradacije vseh inženirskih pregrad. Hidravlične prevodnosti intaktnih in

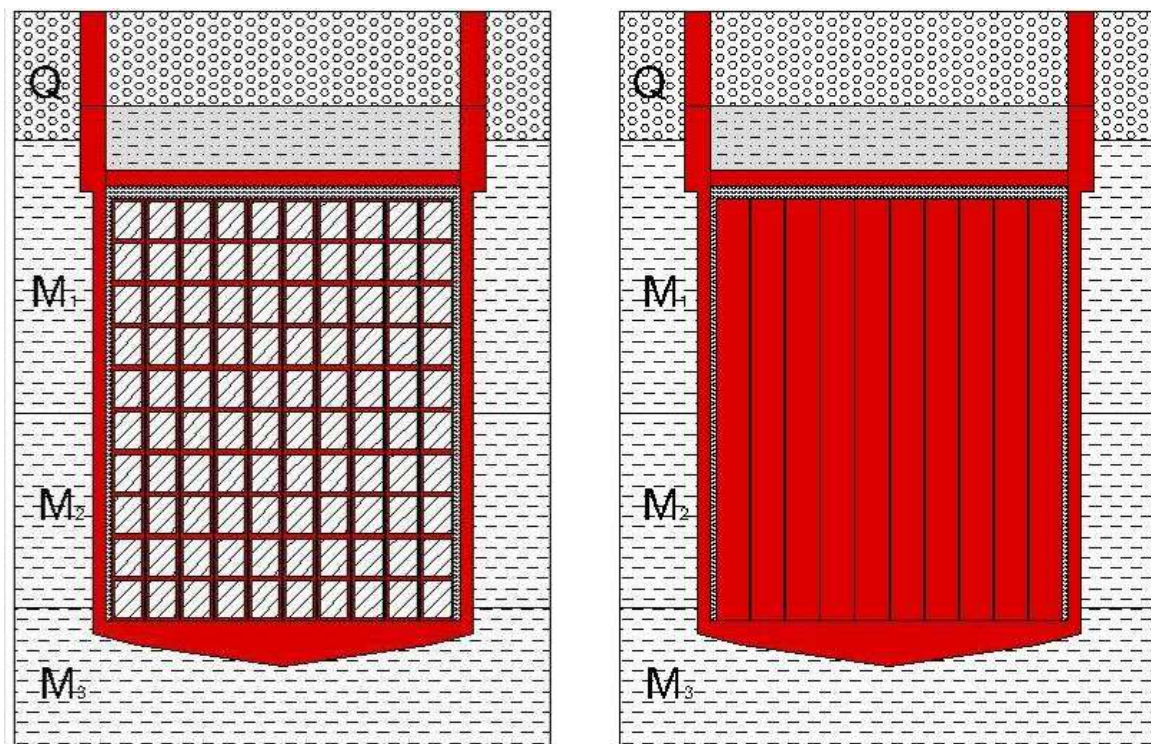
degradiranih materialov za posamezne inženirske pregrade, uporabljene v modelu bližnje okolice so predstavljene v naslednji tabeli (Tabela 7-30).

MATERIAL	K_1 [m/s]	K_2 [m/s]	K_3 [m/s]	K_4 [m/s]	Reference
Miocen 1 (8-31m)	5.0×10^{-7}				[79]
Miocen 2 (31-46m)	6.4×10^{-8}				[79]
Miocen 3 (46-49m)	6.9×10^{-7}				[79]
Silos beton	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	[67]
Peščeno polnilo	1.0×10^{-4}				[ocena]
KPE	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	[67]
Glineni Čep	1.0×10^{-9}				[ocena]
Utrjeni odpadki	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-4}	[ocena]

Tabela 7-30: Hidravlična prevodnost materialov inženirskih pregrad za različna stanja, uporabljena v varnostnih analizah [80]

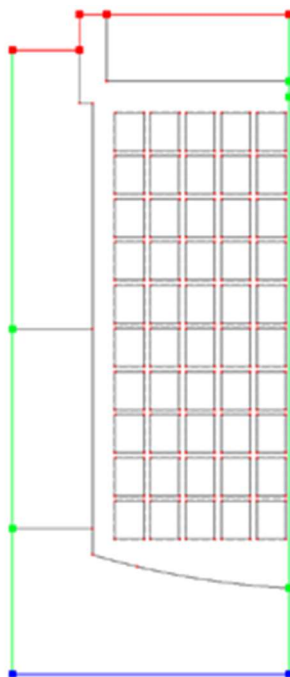
Posamezna stanja – od 1 do 4 (od leve proti desni in od zgoraj navzdol), so prikazana tudi v naslednji sliki (Slika 7-24), kjer so z rdečo barvo označene degradirane pregrade.





Slika 7-24: 4 stanja degradacije inženirskih pregrad, degradirane pregrade so označene rdeče (Q – kvartarne plasti, M₁, M₂, M₃ miocenske plasti)

V modelu bližnje okolice je bila na dnu modela (globina – 57 m) upoštevana konstantna tlačna višina 50,75 m in na vrhu modela (višina -10 m) tlačna višina 3,47 m. Na robovih modela je bil upoštevan robni pogoj brez toka. Pri razliki v višini 47 m je bila upoštevana tlačna višina 47,28m, kar predstavlja vertikalni gradient 0,006. Izračuni so bili opravljeni tudi za gradiente od 0,001 do 0,02. Kvartarni vodonosnik na vrhu silosa je bil v modelu predstavljen s tlačno višino na zgornji meji modela. Model bližnje okolice tako predstavlja silos in lokacijo v neposredni bližini silosa. Konzervativno je predpostavljeno, da je ves čas tok vode skozi silos obrnjen navzgor. Robni pogoji modela so predstavljeni tudi na spodnji sliki (Slika 7-25).



Slika 7-25: Robni pogoji modela bližnje okolice (zelena črta – brez toka, modra črta – tlačna višina 50,75 m, rdeča črta – 3,47 m)

Osnovni rezultati modela bližnje okolice so prikazani v naslednjih dveh tabelah (Tabela 7-31, Tabela 7-32), prva prikazuje hitrost vode [m/leto] skozi posamezne inženirske pregrade, druga pa pretok vode [m³/leto] skozi posamezne inženirske pregrade odlagališča. Rezultati so prikazani za čas, ko model doseže statično stanje, to je, da se podatki v času več ne spreminjajo. Tako hitrost kot pretok sta bila ključna podatka, ki sta bila uporabljena v sistemskem modelu varnostnih analiz za odlagališče NSRAO.

Del odlagališča	Darcy jeva hitrost [m y ⁻¹]			
	Stanje 1	Stanje 2	Stanje 3	Stanje 4
Glinena plast	8.17E-05	6.78E-05	7.79E-05	9.68E-05
Zg.rob glinene plasti	8.17E-05	5.59	7.27	7.29
Strop silosa	8.17E-05	0.738	0.958	0.962
Zgornji rob polnila	9.41E-05	0.505	0.846	0.962
Stene silosa - iztok	1.05E-04	-	-	-
Stene silosa navp.t.	-	2.27	1.70	0.962
Utrjeni odpadki	1.95E-04	1.62E-04	3.72E-05	0.962
KPE	1.95E-04	1.62E-04	1.70	0.962
Polnilo	1.20E-03	2.27	1.70	0.962

Tla silosa	3.63E-04	0.738	0.958	0.962
------------	----------	-------	-------	-------

Tabela 7-31: Darcy jeve hitrosti skozi različne dele odlagališča, kot rezultat modela bližnje okolice odlagališča

Del odlagališča	Stanje 1 Pretok [m3/y]	Stanje 2 Pretok [m3/y]	Stanje 3 Pretok [m3/y]	Stanje 4 Pretok [m3/y]
Glinena plast	0.048	0.040	0.046	0.057
Zg.rob glinene plasti	0.007	497.30	646.07	648.30
Strop silosa	0.055	497.34	646.12	648.35
Zgornji rob polnila	0.055	295.53	494.98	562.86
Stene silosa - iztok	0.190	-	-	-
Stene silosa navp.t.	-	201.81	151.14	85.49
Utrjeni odpadki	0.057	0.048	0.011	282.88
KPE	0.031	0.026	273.70	154.82
Polnilo	0.156	295.46	221.27	125.16
Tla silosa	0.245	497.34	646.12	648.35

Tabela 7-32: Pretok skozi različne dele odlagališča, kot rezultat modela bližnje okolice odlagališča

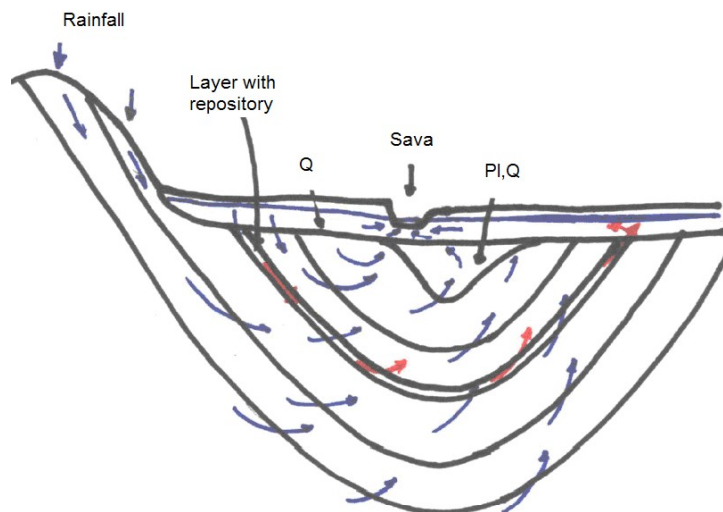
Iz rezultatov lahko vidimo, da se tako pretoki, kot Darcy jeve hitrosti zaradi degradacije posameznih pregrad povečujejo, dokler ne dosežejo maksimalnih možnih vrednosti – ob predpostavki degradacije vseh inženirskih pregrad.

Ostali rezultati modela bližnje okolice, ki so bili povzeti v sistemskem modelu so predstavljeni v poročilu o uporabljenih parametrih [81].

7.3.5.3 Model daljne okolice odlagališča

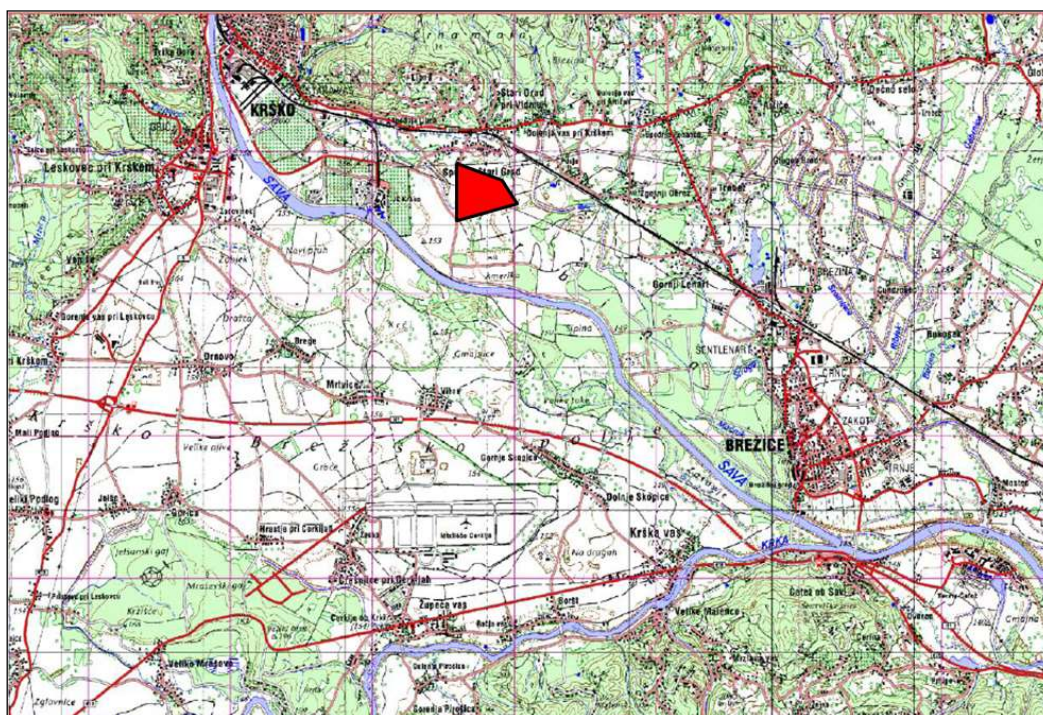
Model daljne okolice odlagališča NSRAO je podrobneje predstavljen v poročilu varnostnih analiz o modelu daljne okolice odlagališča [82] in poročilu o verifikaciji modela [83], v nadaljevanju pa je podan le povzetek.

V okviru varnostnih analiz je bil razvit tudi model daljne okolice odlagališča s pomočjo programskega orodja FEFLOW, z namenom pridobiti Darcyjeve hitrosti geoloških plasti v daljni oklici odlagališča. Te hitrosti so služile kot vhodni podatek v sistemski model varnostnih analiz za odlagališče NSRAO. V modelu je povzet konceptualni model [84] ki sloni na podatkih iz terenskih preiskav [79], ki so prikazani v 4. poglavju tega osnVP. Osnovni koncept modela daljne okolice odlagališča je prikazan na naslednji sliki (Slika 7-26).



Slika 7-26: Konceptualni model toka v daljni okolici odlagališča NSRAO

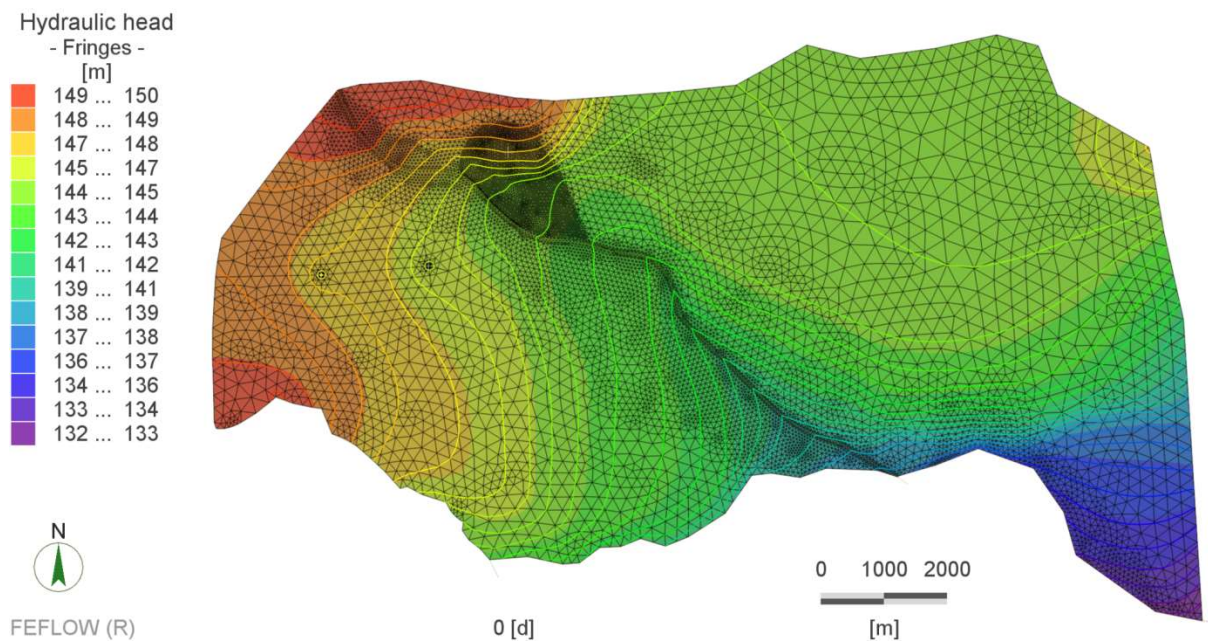
V model daljne okolice je bilo vključeno širše območje odlagališča NSRAO, ki je predstavljeno na naslednji sliki (Slika 7-27).



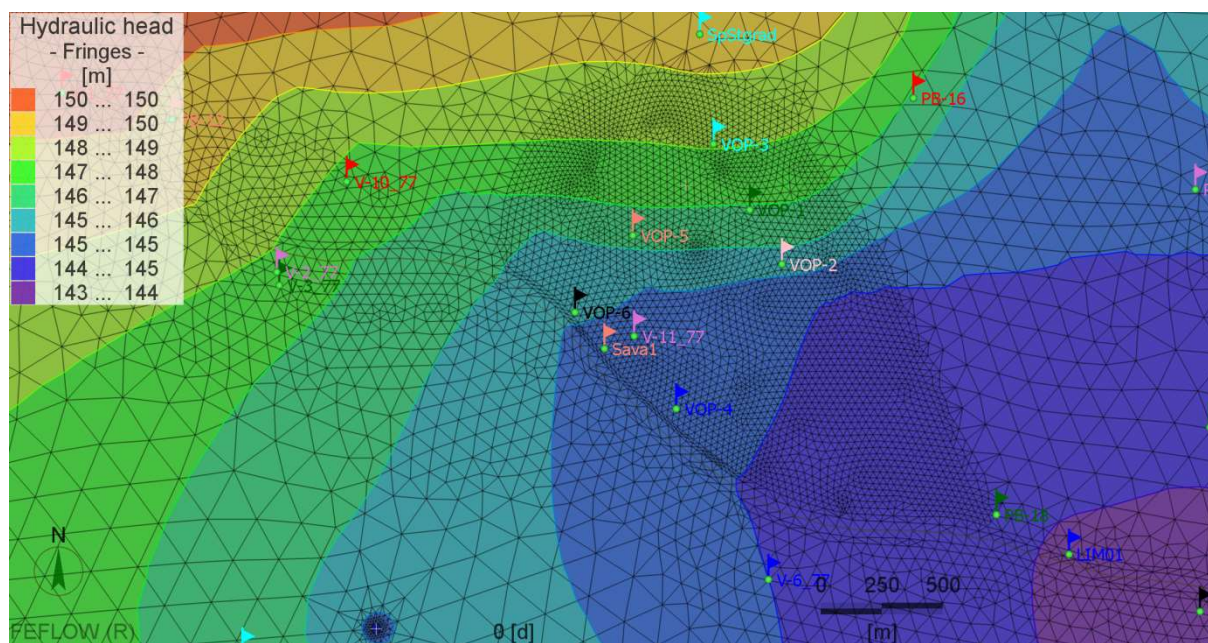
Slika 7-27: Območje širšega modela odlagališča NSRAO

Model je bil razdeljen na 25 plasti in 260 494 vozlišč. Model je bil umirjen na 27 točk z višino podzemne vode na datum 2.10.2008.

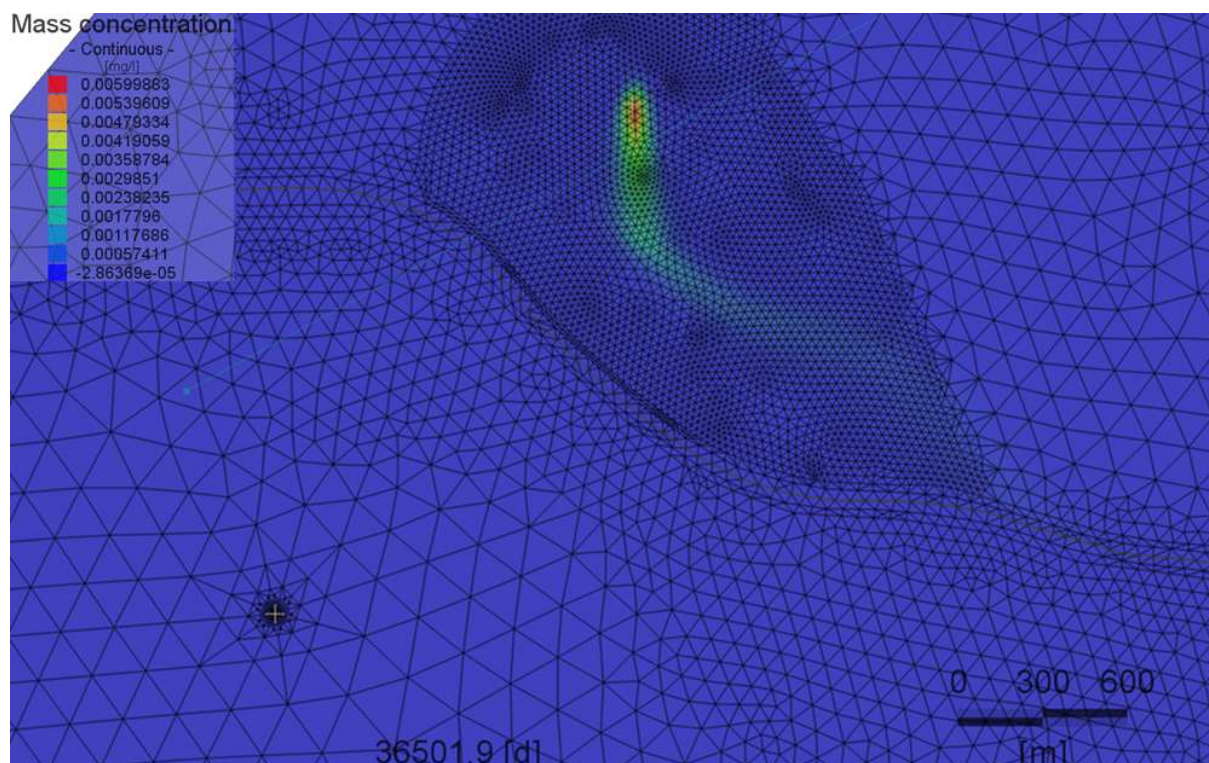
Rezultati modela so prikazani na naslednjih treh slikah (Slika 7-28, Slika 7-29, Slika 7-30), ki prikazujejo hidravlično višino podzemne vode na širšem območju odlagališča NSRAO, hidravlično višino podzemne vode na ožjem območju odlagališča NSRAO in rezultat modeliranja transporta delcev. V tem primeru je to le naključno izbrana koncentracija z namenom prikaza smeri in pojemanja koncentracije z oddaljevanjem od lokacije odlagališča.



Slika 7-28: Hidravlična višina podzemne vode na širšem območju odlagališča NSRAO



Slika 7-29: Hidravlična višina podzemne vode na ožjem območju odlagališča NSRAO



Slika 7-30: Rezultat modeliranja transporta delcev

Rezultati modela daljne okolice, ki so bili preneseni v sistemski model so:

- Darcy jeva hitrost v kvartarnih plasteh $v = 58,1$ m/leto
- Hidravlična prevodnost v kvartarnih plasteh $K = 1,02 \text{ E-}03$ m/s

Ostali rezultati modela daljne okolice, ki so bili povzeti v sistemskem modelu so predstavljeni v poročilu o uporabljenih parametrih [81].

7.3.5.4 Model biosfere

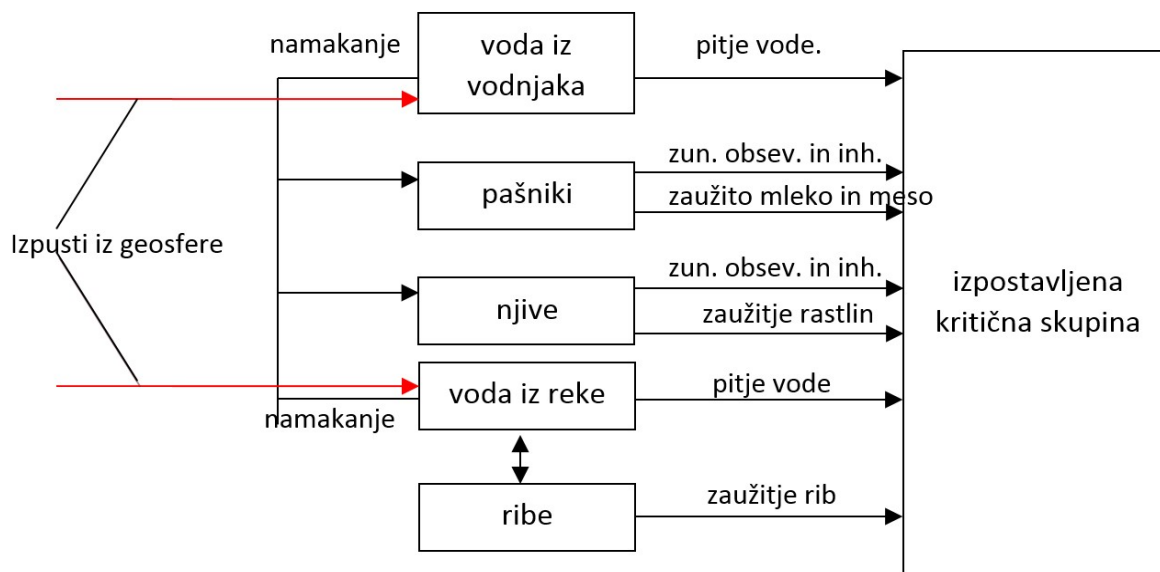
Model biosfere je podrobneje opisan v poročilu o modelih [72] v okviru varnostnih analiz. V nadaljevanju je predstavljen povzetek razvoja modela biosfere.

Model biosfere predpostavlja, da lahko radionuklidi pridejo do biosfere po dveh poteh. To so:

- s črpanjem vode iz vodnjaka, ki je lociran v bližini odlagališča (v središču potencialne kontaminacije, 100 m od odlagališča),
- z izlivom radionuklidov v reko.

Možne poti izpostavljenosti za predstavnika kritične skupine so tako:

- pitje vode iz vodnjaka in/ali reke,
- uživanje hrane iz reke (ribe ...),
- uživanje rastlinske hrane kontaminirane zaradi namakanja iz vodnjaka ali reke in posredno kontaminiranja rastlin in tal,
- pitje mleka in uživanje mesa živali, ki se pasejo na pašniku, ki je kontaminiran z namakanjem z vodo iz vodnjaka ali reke,
- zunanje obsevanje in obsevanje zaradi inhalacije zaradi zasedenosti (prebivanja na) kontaminiranih njivskih in pašnih površin.

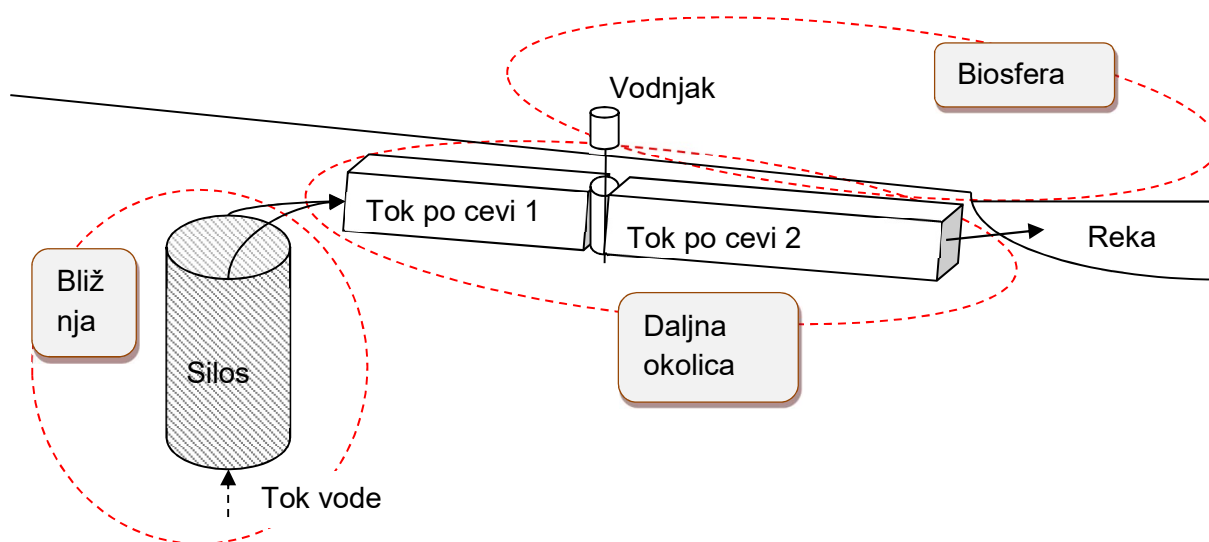


Slika 7-31: Grafično prikazan pod model biosfere

Parametri uporabljeni v modelu biosfere, ki so bili uporabljeni v sistemskem modelu so predstavljeni v poročilu o uporabljenih parametrih [81].

7.3.5.5 Sistemski model

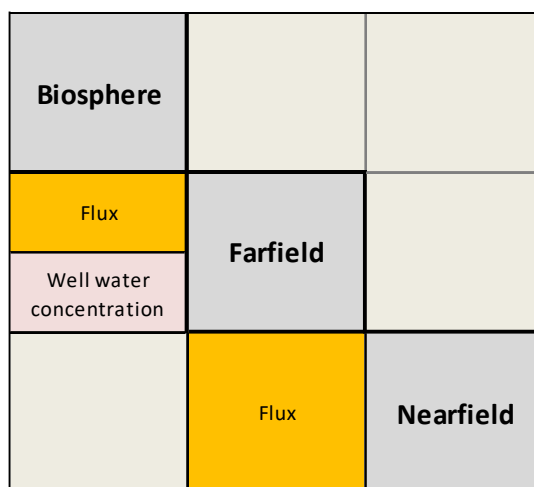
Sistemski model za odlagališče NSRAO je razdeljen v tri pod modele: model bližnje okolice, model daljne okolice in model biosfere. Shematsko je transport radionuklidov iz bližnje, preko daljne, do biosfere prikazan na naslednji sliki (Slika 7-32).



Slika 7-32: Ilustrativni prikaz transporta radionuklidov iz bližnje, preko daljne, do biosfere, kot je bil uporabljen v sistemskem modelu

Sistemsko so vsi trije modeli predstavljeni v programskem orodju ECOLEGO kot enoten integriran sistem. Vhodni podatki pa so kot je omenjeno že zgoraj pripravljeni na podlagi procesnih pod modelov, ti so podrobneje predstavljeni v poročilih o degradaciji pregrad [73], toku vode skozi silos [80], poročilu o geosferi [82] in poročilu o pod modelu biosfere [72], povzeti pa v nadaljevanju tega poglavja.

V ECOLEGU so pod modeli predstavljeni z oddelki v ECOLEGO matriki (compartment model approach), kot prikazuje naslednja slika (Slika 7-33). Pri takem pristopu je model opisan s fizikalnim sistemom in prikazan v prostoru s posameznimi pododdelki. Vsak od pododdelkov je homogen in ustreza fizikalno ločenim delom celotnega sistema. Matematično gledano to predstavlja sistem navadnih diferencialnih enačb, kjer vsaka predstavlja stanje določene spremenljivke, npr. inventar radionuklidov v posameznem pododdelku. Za vsak pododdelek je definiranih več stanj – po eno za vsak radionuklid prisoten v odpadkih. Pododdelki so povezani med sabo tako, da so uporabljene hitrosti prenosov, ki ustrezajo transportnim procesom radionuklidov med posameznimi pododdelki. Ti transportni procesi predstavljajo fizikalno in kemično obnašanje sistema v odvisnosti od časa in vključuje parametre, ki so lahko odvisni od posameznega radionuklida, njegove kemične oblike in ostalih značilnosti sistema. Trije glavni pod modeli so povezani preko preprostih enačb prenosa mase.



Slika 7-33: Prikaz treh pod modelov in njihova interakcija v ECOLEGO matriki (kjer pomenijo: Biosphere = biosfera, Farfield – širše območje odlagališča, Nearfield – ožje območje odlagališča, Flux – pretok, Well water concentration – aktivnost radionuklidov (koncentracija) v vodi iz vodnjaka)

Hitrost spreminjanja (koncentracije) za vsako stanje spremenljivke v posameznem pododdelku je opisana z naslednjo diferencialno enačbo:

$$\frac{dA_i^k}{dt} = \sum_j TC_{ji}^k A_j^k - \sum_j TC_{ij}^k A_i^k + \lambda^p A_i^p - \lambda^k A_i^k$$

Enačba 7-6

kje predstavlja:

A_i^k je količina k-tega radionuklida v i-tem pododdelku [mol],

A_j^k je količina k-tega radionuklida v j-tem pododdelku [mol],

TC_{ij}^k je koeficient hitrosti prenosa k-tega radionuklida iz i-tega pododdelka v j-ti pododdelek [y^{-1}],

TC_{ji}^k je koeficient hitrosti prenosa k-tega radionuklida iz j-tega pododdelka v i-ti pododdelek [y^{-1}], and

λ^k in λ^p predstavljata hitrost razpada [y] za k-ti in p-ti radionuklid, kjer je p-ti radionuklid starš k-temu radionuklidu v razpadni verigi.

Podrobno so enačbe za posamezne koeficiente hitrosti prenosa predstavljene v poročilu o modelih [72].

7.3.5.6 Obravnava scenarija nenamernega vdora človeka v odlagališče

Kot je opredeljeno že v poglavju 7.3.2.3. tega osnVP je scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče po koncu institucionalnega nadzora zelo malo verjeten. Razlogi za to so:

- Praktično edini možni scenarij, ki lahko doseže globino odlagališča je geotehnično vrtanje.
- Za vrtanje do globine odlagališča, na lokaciji odlagališča je zelo malo možnih motivacij (na globini odlagališča ni mineralnih surovin, podzemna voda je v vodonosniku nad nivojem odlagališča).
- Odlagališče bo zgrajeno zelo robustno, z debelimi betonskimi stenami, odpadki pa pripravljeni na odlaganje v betonskih kontejnerjih in kovinskih sodih, kar praktično onemogoča izvedbo vrtanja, tudi če vrtalec želi vrtati tako globoko.

Scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče je zato obravnavan kot scenarij spremenjenega razvoja odlagališča in so zanj upoštevana merila za ukrepanje glede na obremenitev posameznega prebivalca skladno z pravilnikom JV 5 [21].

V okviru varnostnih analiz je bila tako obravnavan scenarij vdora, ki lahko pride zaradi načrtovanega geotehničnega vrtanja na lokaciji odlagališča po končanem obdobju institucionalnega nadzora.

7.3.5.6.1 Vdor v odlagališče zaradi vrtanja

V primeru vrtanja skozi odlagališče pride do izkopa zelo majhne količine odpadkov (jedrniki, ki jih uporabljajo pri vrtanju imajo premera le nekaj cm). Pri tem bi bili odpadki v jedru pridobljenem z jedrnikom pomešani z čistim materialom nad odlagališčem. Ob predpostavki, da vrtina, v primeru scenarija vdora, predre odlagališče v celoti je bila koncentracija odpadkov v mešanem materialu določena kot:

$$Conc_{surface}^i = \frac{Conc_{waste}^i}{\rho_{surface}} \frac{V_{exh}}{V_{exh} + V_{clean}}$$

Enačba 7-7

Kjer pomeni:

$Conc_{surface}^i$ koncentracija i – tega radionuklida v mešanem material [Bq/kg],

$\rho_{surface}$ gostota zemlje nad odlagališčem (na površini) [kg/m³],

$Conc_{waste}^i$ koncentracija i – tega radionuklida v odpadkih, ki jih doseže vrtina [Bq/m³],

V_{exh} je volumen odpadkov izkopen zaradi vrtine [m³],

V_{clean} je predpostavljena količina čistega materiala, s katerim so pomešani odpadki [m³].

V varnostnih analizah je bilo privzeto, da je področje (višina odloženih odpadkov v silosu) z odloženimi odpadki visoko 33 m in da je volumen čiste zemlje, s katerimi se lahko pomešajo odpadki enak 100 m^3 (področje 100 m^2 , 1 m globine). Vsi parametri privzeti v oceni doze so predpostavljeni kot utemeljeno konzervativni. Doza, ki jo lahko dobi vrtalec v primeru scenarija vdora je odvisna predvsem od časa preživetega v bližini izvrtanega jedra (v primeru, da se vrta tako, da se jedro pridobiva) in od koncentracije radionuklidov v okoliški zemljini (v primeru, da se jedra ne pridobiva in se gošča izplake odlaga v bližini kraja vrtanja). Aktivnost v odpadkih je bila ocenjena iz skupne aktivnosti vseh odloženih odpadkov in ocenjenega odloženega volumna (privzet je bil volumen srednji volumen iz različnih ocen $14\,800 \text{ m}^3$, ta volumen se bo v naslednjih fazah uskladil za zadnjimi razpoložljivimi podatki, ki pa bodo končni šele po razgraditvi NEK). Volumen izkopanih odpadkov zaradi vrtine je bil ocenjen kot:

$$V_{exh} = \frac{\pi d^2}{4} \text{depth}_{silo}$$

Enačba 7-8

Kjer je:

d premer izvrtane vrtine [m],

depth_{silo} globina odloženih odpadkov v silosu [m].

7.3.5.6.1.1 Model izračuna doze zaradi nenamernega vdora v odlagališče

Skupna izpostavljenost vrtalca – skupna doza (Sv/leto) zaradi scenarija nenamernega vdora človeka je ocenjena kot seštevek doz, ki jih vrtalec prejem zaradi ingestije, inhalacije in zunanje obsevanosti.

Doza zaradi ingestije

Doza zaradi zaužitja je povezana predvsem z nenamernim zaužitjem kontaminirane zemljine, zaradi zaužitja umazanije iz vrtalčevih rok. Doza je bila za ta primer ocenjena kot:

$$Dose_{ing}^i = Conc_{surface}^i \cdot ingSoil \cdot TimeOnsite \cdot DCC_{ingFood}^i$$

Enačba 7-9

Kjer pomeni:

$ingSoil$ - koeficient zaužitja zemljine, s strani vrtalca [kg/h],

$TimeOnsite$ – čas v katerem je vrtalec izpostavljen izkopanim odpadkom [h/y],

$DCC_{ingFood}^i$ – koeficient pretvorbe doze (dose conversion coefficient) i – tega radionuklida ob zaužitju [Sv/Bq].

Doza zaradi inhalacije

V okviru priprave modela je bilo predpostavljeno, da je vrtalec izpostavljen prahu, ki nastaja zaradi vrtalnih del. Ocenjena doza zaradi inhalacije je bila izračunana kot:

$$Dose_{inh}^i = Conc_{surface}^i \cdot Conc_{Dust} \cdot inhRate \cdot TimeDrilling \cdot DCC_{inh}^i$$

Enačba 7-10

Kjer pomeni:

$Conc_{Dust}$ – koncentracija prahu v atmosferskem zraku [kg/m^3],

$InhRate$ – hitrost dihanja izpostavljen osebe [m^3/h],

$TimeDrilling$ – trajanje vrtalnih del [h/leto],

DCC_{inh}^i koeficient pretvorbe doze (dose conversion coefficient) i – tega radionuklida ob inhalaciji [Sv/Bq].

Doza zaradi zunanjega obsevanja

Doza, ki jo prejme vrtalec zaradi zunanjega obsevanja je bila izračunana kot:

$$Dose_{ext}^i = Conc_{surface}^i \cdot \rho_{surface} \cdot TimeOnsite \cdot DCC_{ext}^i \cdot F_{ext}$$

Enačba 7-11

Kjer je:

DCC_{ext}^i koeficient pretvorbe doze (dose conversion coefficient) i – tega radionuklida zaradi zunanjega obsevanja [Sv/Bq],

F_{ext} – faktor popravka površine [-].

Faktor popravka površine je uveden v oceno doze zaradi tega, ker so koeficienti pretvorbe doze razviti za primer neskončne površine. V primeru scenarija nenamernega vdora bo vrtalec izpostavljen sevanju le na omejenem področju, kar zmanjša dozo, ki jo dobi vrtalec zaradi obravnavanega scenarija. Razvit je bil zelo kompleksen pristop določitve vpliva površine na prejeto dozo zaradi zunanje izpostavljenosti [85], kjer je faktor odvisen od energije radiacije, njene globine ... Za potrebe varnostnih analiz pa je bil uporabljen nekoliko preprostejši pristop [86], ki pa ga tudi prej omenjena študija [85] prepozna kot dober približek ocene faktorja popravka površine, razen za radiacije z zelo nizko energijo. Ker pa so te, z vidika posledic, najmanj pomembne v okviru varnostnih analiz je bil pristop [86] prepoznan kot ustrezen. Faktor popravka površine je uveden v oceno doze zaradi tega, ker so koeficienti pretvorbe doze razviti za primer neskončne površine. V primeru scenarija nenamernega vdora bo vrtalec izpostavljen sevanju le na omejenem področju, kar zmanjša dozo, ki jo dobi vrtalec zaradi obravnavanega scenarija.

Faktor popravka površine je tako določen s pomočjo tabele (Tabela 7-33):

primer	F_{ext}
$0 < Area_{cont} \leq 25 \text{ m}^2$	$0.016 \cdot Area_{cont}$
$25 < Area_{cont} \leq 100 \text{ m}^2$	$0.35 + 0.002 \cdot Area_{cont}$
$100 < Area_{cont} \leq 500 \text{ m}^2$	$0.48 + 0.00065 \cdot Area_{cont}$
$500 < Area_{cont} \leq 1222 \text{ m}^2$	$0.67 + 0.00027 \cdot Area_{cont}$

Area _{cont} >1222 m ²	1
---	---

Tabela 7-33:Določitev faktorja popravka površine

Kjer je bila kontaminirana površina določena kot:

$$Area_{cont} = \frac{V_{exh} + V_{clean}}{depth_{cont}}$$

Enačba 7-12

Kjer pomeni:

$depth_{cont}$ - globina kontaminiranega področja [m].

7.3.5.6.2 Scenarij nenamernega vdora človeka – naselitev območja po vdoru

To poglavje opisuje način ovrednotenja doze za prebivalca, ki se naseli na območju nenamernega vdora v odlagališče, po tem dogodku.

Zaradi nenamernega vdora skozi odlagališče - vrtanja na območju odlagališča, kot je opisano v poglavju 7.3.5.6.1 tega osnVP je predpostavljeno, da pride do kontaminacije območja premera 29 m okoli izvrtane vrtine. Predpostavljeno je bilo, da je zemlja kontaminirana v debelini 15 cm. Lokacija in vrtina sta po končanih delih zapuščeni, brez dodatnih varnostnih ukrepov. Do kontaminacije pride, ker je bilo območje vrtine zapuščeno in zaradi vremenskih pojavov pride do razširitve kontaminacije. Kmalu za tem, se na območje vrtine naseli družina in na območju vzpostavi samopreskrbno kmetijo, kjer gojijo poljščine in zelenjavo. Zaradi kmetijske aktivnosti se kontaminacija razširi na širše območje – 2 500 m² [87]. V scenariju in modelu je predpostavljeno, da so predstavniki družine izpostavljeni sevanju zaradi zaužitja kontaminirane hrane, inhalaciji kontaminiranega prahu in zunanjemu obsevanju zaradi radionuklidov, ki so v okoljski zemljini.[87].

Na območju, kjer pride do izpostavljenosti sevanju, je bila koncentracija posameznega radionuklida v zemljini [Bq/kg] ocenjena po sledeči enačbi (Enačba 7-13):

$$Conc_{soil}^i = Conc_{surface}^i \frac{Area_{exp}}{Area_{cont}} \exp\left(-\log(2) \frac{T_1}{halflife^i}\right) \left(1 - \exp\left(-\log(2) \frac{T_2}{halflife^i}\right)\right) / \left(\log(2) \frac{T_2}{halflife^i}\right)$$

Enačba 7-13

Kjer pomeni:

$Area_{exp}$ – kontaminirano območje, kjer pride do izpostavljenosti [m²],

T_1 - čas od kontaminacije, do pričetka izpostavljenosti [let],

T_2 – predpostavljeni čas izpostavljenosti po času T_1 [let],

$halflife^i$ – razpolovni čas i – tega radionuklida [let].

Zgornja enačba (Enačba 7-13) upošteva zmanjšanje kontaminacije zaradi radioaktivnega razpada, konzervativno pa ne upošteva pa ostalih procesov, ki lahko vodijo v zmanjšanje kontaminacije (erozije, izluževanja, pobiranje pridelkov). Za čas izpostavljenosti T_2 je bilo privzeto obdobje celega leta.

Koncentracije radionuklidov v zraku in prehranski verigi, ter doze, ki jih prejmejo prebivalci zaradi zaužitja, inhalacije in direktnega obsevanja, so bile izračunane z modelom biosfere, ki je predstavljen v poglavju **Error! Reference source not found.** tega osnVP. Edini izjemi sta koncentraciji H -3 in C -14, ki sta bili izračunani po enačbah, ki so predstavljene v poročilu varnostnih analiz o modelih [72]. Podrobneje so uporabljeni parametri za ovrednotenja scenarija nenamernega vdora človeka v odlagališče predstavljeni v 5. poglavju poročila varnostnih analiz o parametrih [81].

7.3.5.7 Možnost nastajanja tritija (H-3) in/ali C-14, ter radona (Rn-222) v plinih nastalih v odlagališču in njihov vpliv na ocenjeno efektivno dozo

Nastajanje plinov je podrobneje opredeljeno v poročilu varnostnih analiz [30] v nadaljevanju pa je podan povzetek.

V odlagališču bosta ob reakcijah nastajanja plinov, ki so predstavljene v poglavju 7.2.3.1. tega osnVP lahko nastajala tudi H-3 in C-14. Kakor je razvidno iz Tabele 7- 21 glavni tok odpadkov, ki vsebuje H-3 in C-14 izhaja iz razgradnje NEK. Ti odpadki, naj bi vsebovali $1,23E+15$ Bq H-3 in $4,30E+13$ Bq C-14.

Ob neupoštevanju razpolovnega časa je bilo ocenjeno [30], da bo iz celotnega odloženega inventarja lahko izšlo $4,34E+09$ Bq/leto C-14, ki bo izhajal v obliki metana. Metan, ki bo vseboval radioaktivni ogljik (C-14) bo zelo razredčen z neradioaktivnim metanom, ki bo nastajal zaradi degradacije organskih odpadkov.

V primeru tritija, bo ob neupoštevanju razpada lahko nastalo $2,0E+08$ Bq/leto H-3, ki pa bo zaradi dokaj kratke razpolovne dobe (12 let) dokaj hitro razpadel.

V odlagališču bi lahko nastajale tudi majhne količine radona (Rn-222), ki pa ima razpolovno dobo 3,82 dni. Razpolovna doba je v primeru radona ključni faktor, da bo radon razpadel predno bo dosegel površje.

V odlagališču nastali plini bodo proti površju potovali na več načinov [88] v mehurčkih, ki bodo potovali s podzemno vodo, nekaj plina pa se bo tudi raztopilo v vodi. Potovanje proti površini bodo preprečevale tako umetne, kot naravne pregrade (beton, melj, glinasti čep...). Nato se bo plin vezal na koreninske sisteme rastlin, ki bodo rasle v okolici odlagališča (predvsem C-14), del pa prehajal v zrak, kjer se bo dodatno razredčil.

Zaradi zgoraj zapisanega in ob upoštevanju, da je bil celoten inventar upoštevan v modelih prenosa radionuklidov lahko ocenjujemo, da je doprinos plinov k celotni ocenjeni efektivni dozi zanemarljiv.

7.3.6 REZULTATI VARNOSTNIH ANALIZ PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA – DETERMINISTIČNI PRERAČUNI

7.3.6.1 Nominalni scenarij – scenarij normalnega razvoja

Termin »nominalni« je v okviru varnostnih analiz uporabljen, da se opiše predviden razvoj (obnašanje) odlagališča v odsotnosti neobičajnih in nepričakovanih dogodkov ter procesov. Termin je bil izbran preudarno, ker tega scenarija ne razumemo nujno kot »pričakovanega« ali »najbolj verjetnega«, vendar po mnenju skupine, ki pripravlja varnostne analize, odraža smiselni razvoj dogodkov na odlagališču v prihodnosti in zadošča namenu varnostnih analiz, katerih namen je pokazati, da je vpliv odlagališča manjši od predpisane meje 0,3 mSv na leto.

Potek dogodkov v nominalnem scenariju lahko opišemo takole. Predvideno je, da je v času zaprtja silosa le ta nasičen. Po zaprtju odlagališča bo zaprt in zatesnjen tudi drenažni sistem. Ker silos leži v nasičeni coni, bo prišlo do zasičevanja silosa, kar bo trajalo določen čas. Pri izdelavi varnostnih analiz je bilo konzervativno privzeto, da je ob zaprtju silosa ta takoj nasičen in lahko takoj steče potencialni transport radionuklidov, katerih glavna transportna pot je voda. Čas zasičevanja silosa bo v naslednji fazi varnostnih analiz bolj ovrednoten. V tej fazi pa to predstavlja neko »dodatno varnost - konzervativnost, saj zasičevanje odmika čas pričetka potencialnega transporta radionuklidov. Po zaprtju je predviden 50 letni aktivni dolgoročni nadzor in vzdrževanje odlagališča in nato 250 let pasivnega nadzora (glej poglavje 12 tega osnVP) za čas, kar pa ne pomeni, da so potencialni izpusti zamaknjeni za ta čas. V varnostnih analizah je privzeto, da lahko pride do izpustov ne glede na izvajanje institucionalne kontrole, izpusti so odvisni od stanja inženirskih pregrad. Za nominalni scenarij je bil privzet istočasen pričetek propadanja vseh inženirskih pregrad [73].

V scenariju je predvideno, da pride do potencialnih izpustov v okoliško podzemno vodo, ki se drenira v reko Savo, oblak kontaminacije pa je prestrežen z vodnjakom. Pri tem ni bil upoštevan vpliv izčrpane vode iz vodnjaka na dreniranje v reko Savo v smislu, da bi se potencialna kontaminacija (radionuklidi) razdelila na del, ki gre v vodnjak in na del, ki drenira v Savo. Pristop sicer fizikalno gledano ni realističen je pa konzervativen in veliko bolj upravičen, kot delitev potencialne kontaminacije na dva dela. V modelu ni bila upoštevana kontaminacija kmetijskih površin zaradi kapilarnega dviga (in s tem vertikalnega toka), predvsem zaradi pomanjkanja informacij, kako modelirati (oceniti) tako kontaminacijsko pot. Tak scenarij je zajet z alternativnim nominalnim scenarijem, kjer se voda iz vodnjaka uporablja za namakanje kmetijskih površin in tako kontaminacija »direktno« doseže zgornje plasti zemljine.

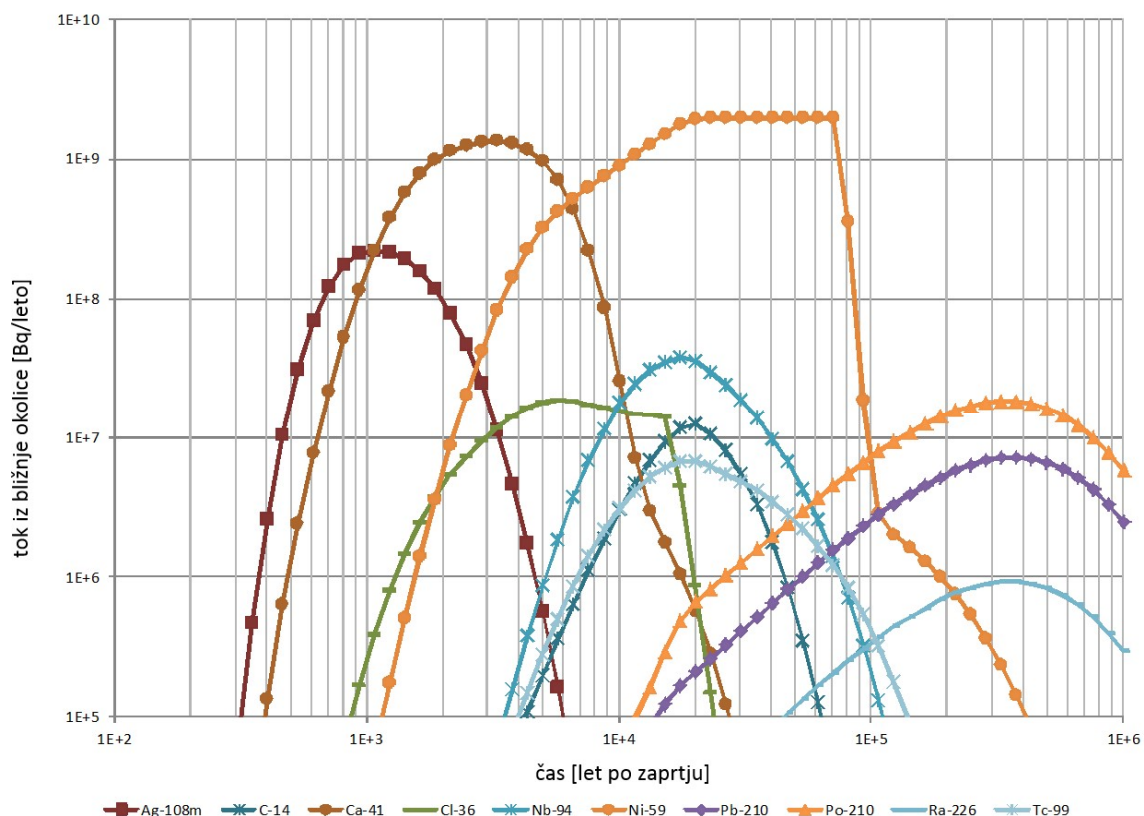
Doze so izračunane za hipotetičnega predstavnika potencialno najbolj izpostavljene skupine prebivalstva. Upoštevane so bile naslednje poti izpostavljenosti:

- Uživanje rib iz reke;
- Uživanje rastlin, ki so rasle na področju namakanja z vodo iz reke;
- Uživanje kravjega mleka in mesa. Krave se napajajo z vodo iz reke in pasejo na področju, ki se namaka z vodo iz reke;
- Pitje vode iz vodnjaka, ki prestreže potencialno kontaminacijo. Vodnjak je umeščen v sredino kontaminacije, 100 m od odlagališča. Predvideno je, da se tak vodnjak prične uporabljati po koncu institucionalnega nadzora (300 let);
- Inhalacija in zunanja izpostavljenost zaradi prisotnosti na namakanem območju.

Pri izračunu vpliva (doze) je bilo predpostavljeno, da je vsa zaužita hrana in voda kontaminirana in je izpostavljeni posameznik 100% časa na kontaminiranem področju.

Za zgoraj predstavljeni (nominalni) scenarij so bile izvedene deterministične analize za nominalni set vhodnih parametrov [81]. Ti parametri so bili izbrani na način, da prikažejo nominalno obnašanje celotnega sistema. Niso bili izbrani z namenom, da prikažejo najslabši možni primer ali najbolj realističen primer. Izbrani so tako, da prikažejo primer nekje med omenjenima. Ocena konzervativnosti je predstavljena v poglavju 7.3.7.4, kjer prikazana občutljivostna analiza za posamezne parametre.

Rezultati izračunov za osnovni nominalni scenarij so prikazani na naslednjih slikah in v naslednjih tabelah.



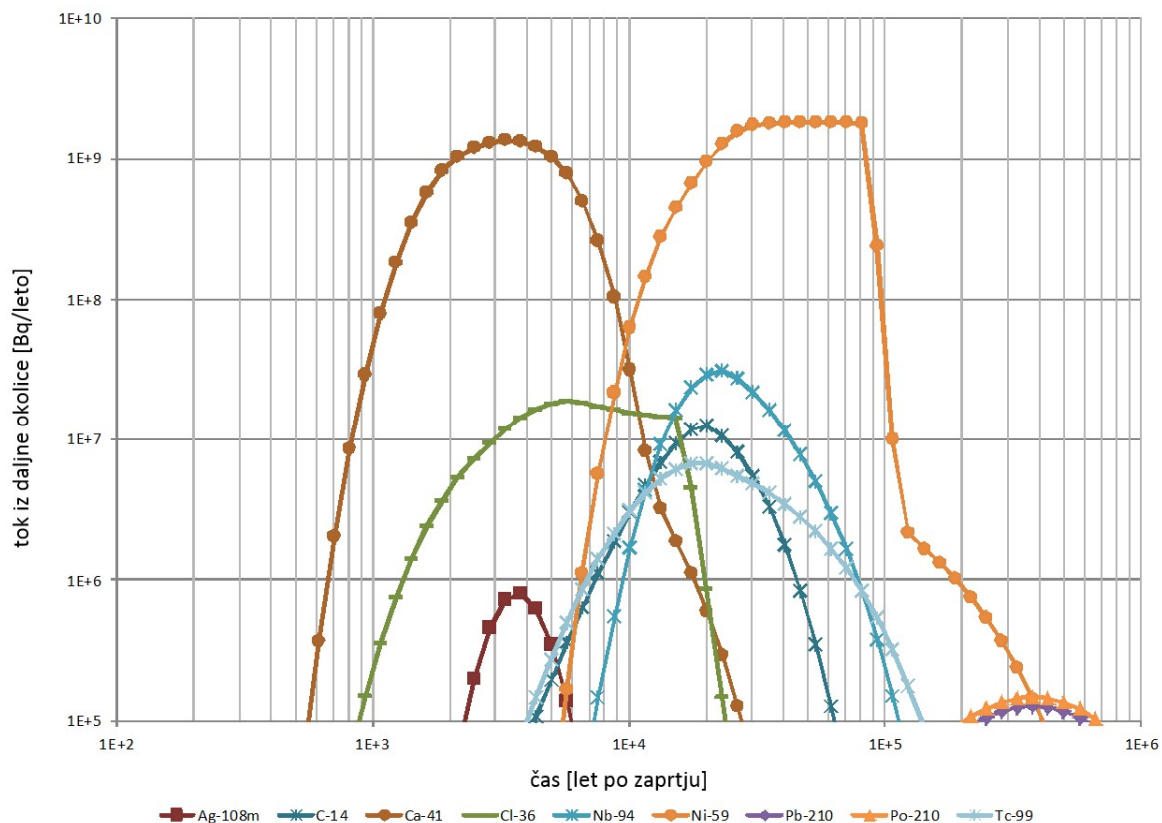
Slika 7-34: Izpusti radionuklidov iz bližnje okolice v daljno okolico odlagališča za nominalni scenarij

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	4.1E+03	10 000	5.8E+03	15 199
Ag-108m	2.2E+08	1 072	2.2E+08	1 072
Am-241	8.6E-01	4 977	8.6E-01	4 977
Ba-133	5.2E-06	28	5.2E-06	28

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
C-14	3.0E+06	10 000	1.3E+07	20 092
Ca-41	1.4E+09	3 275	1.4E+09	3 275
Cd-109	9.7E-10	2	9.7E-10	2
Cd-113m	9.5E-04	38	9.5E-04	38
Cl-36	1.9E+07	5 722	1.9E+07	5 722
Cm-244	5.4E-09	50	5.4E-09	50
Co-60	4.6E-02	12	4.6E-02	12
Cs-134	1.1E-02	3	1.1E-02	3
Cs-135	2.4E+04	10 000	2.4E+04	15 199
Cs-137	1.6E+01	464	1.6E+01	464
Eu-152	2.7E-08	33	2.7E-08	33
Eu-154	2.9E-09	22	2.9E-09	22
Eu-155	4.4E-10	11	4.4E-10	11
Fe-55	6.2E+02	4	6.2E+02	4
H-3	7.2E+00	305	7.2E+00	305
I-129	4.3E+04	2 154	4.3E+04	2 154
Na-22	4.0E-08	5	4.0E-08	5
Nb-93m	3.2E-14	25	3.2E-14	25
Nb-94	1.8E+07	10 000	3.8E+07	17 475
Ni-59	9.0E+08	10 000	2.0E+09	70 548
Ni-63	4.9E+03	1 233	4.9E+03	1 233
Np-237	3.2E+00	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	4.4E+03	10 000	6.5E+03	15 199
Pb-210	4.1E+04	10 000	7.2E+06	376 494
Pd-107	2.4E+02	10 000	1.2E+03	20 092

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Po-210	5.9E+04	10 000	1.9E+07	327 455
Pu-238	1.1E-09	933	1.1E-09	933
Pu-239	2.6E+02	10 000	1.7E+04	35 112
Pu-240	9.9E-01	10 000	2.5E+01	23 101
Pu-241	2.0E-09	22	2.0E-09	22
Ra-226	3.4E+03	10 000	9.3E+05	376 494
Ra-228	2.0E+01	10 000	2.0E+04	376 494
Sb-125	6.0E-02	4	6.0E-02	4
Se-79	1.1E+04	8 697	1.1E+04	8 697
Sm-151	8.6E-09	705	8.6E-09	705
Sr-90	3.0E+01	464	3.0E+01	464
Tc-99	3.1E+06	10 000	6.8E+06	17 475
Th-228	3.4E-02	10 000	3.3E+01	376 494
Th-229	3.2E-03	10 000	3.6E+01	215 443
Th-230	4.3E-02	10 000	2.7E+03	376 494
Th-232	5.7E-03	10 000	3.3E+01	376 494
Tl-204	7.2E-08	8	7.2E-08	8
U-233	1.3E-01	10 000	2.2E+02	215 443
U-234	1.4E+01	10 000	1.9E+04	247 708
U-235	2.5E+00	10 000	4.9E+02	70 548
U-236	9.2E-04	10 000	2.7E-01	70 548
U-238	3.0E+02	10 000	5.7E+04	70 548

Tabela 7-34: Maksimumi izpustov in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz silosa pri nominalnem scenariju



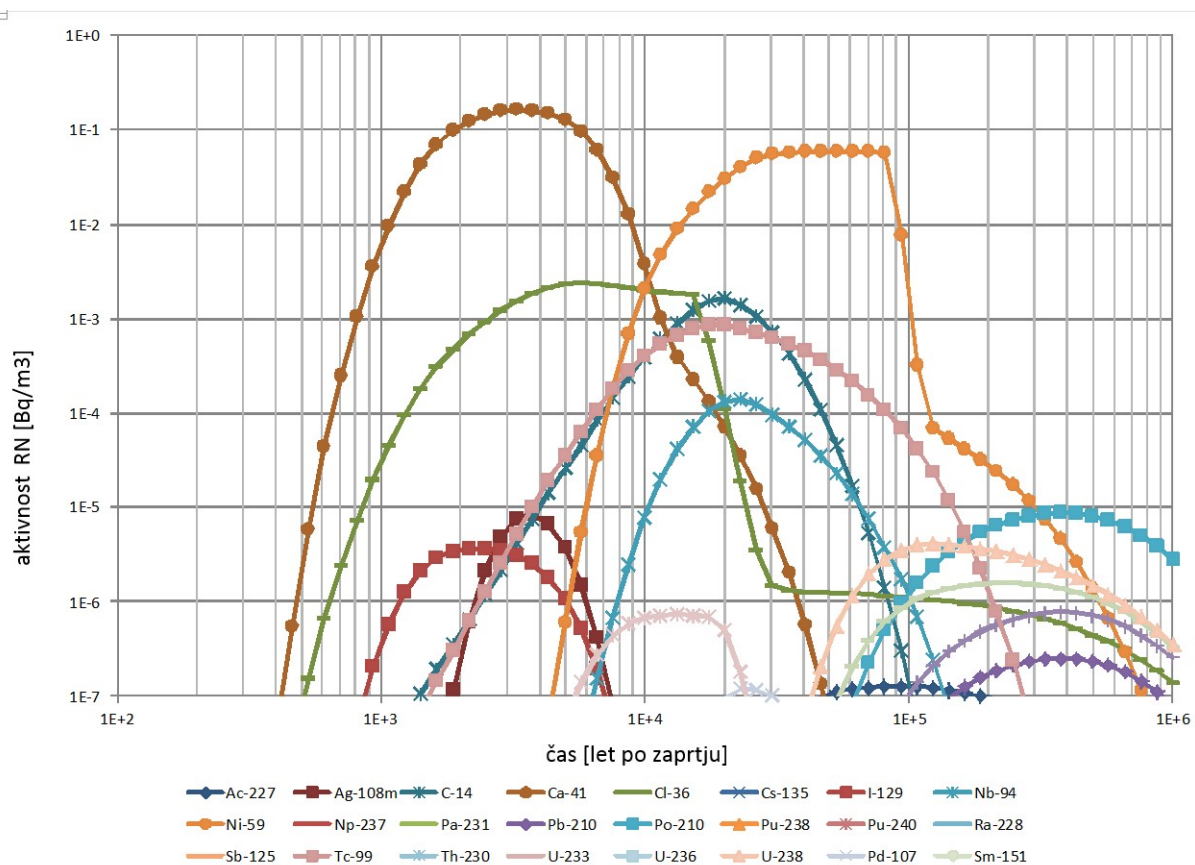
Slika 7-35: Izpusti radionuklidov iz geosfere (drenaža v reko) za nominalni scenarij

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	1.5E-03	10 000	2.1E+03	93 260
Ag-108m	7.9E+05	3 765	7.9E+05	3 765
Am-241	4.7E-10	10 000	9.9E-10	13 219
Ba-133	3.4E-06	33	3.4E-06	33
C-14	3.0E+06	10 000	1.3E+07	20 092
Ca-41	1.3E+09	3 275	1.3E+09	3 275
Cd-109	2.5E-64	57	2.5E-64	57
Cd-113m	5.8E-29	534	5.8E-29	534
Cl-36	1.9E+07	5 722	1.9E+07	5 722
Cm-244	7.1E-77	811	7.1E-77	811

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Co-60	2.8E-47	231	2.8E-47	231
Cs-134	3.9E-118	100	3.9E-118	100
Cs-135	4.9E-39	10 000	3.8E+02	869 749
Cs-137	1.1E-78	1 874	1.1E-78	1 874
Eu-152	1.7E-82	614	1.7E-82	614
Eu-154	1.5E-89	404	1.5E-89	404
Eu-155	2.6E-98	231	2.6E-98	231
Fe-55	1.6E-46	115	1.6E-46	115
H-3	5.4E+00	305	5.4E+00	305
I-129	4.3E+04	2 477	4.3E+04	2 477
Na-22	7.5E-09	11	7.5E-09	11
Nb-93m	7.2E-35	534	7.2E-35	534
Nb-94	1.7E+06	10 000	3.1E+07	23 101
Ni-59	6.3E+07	10 000	1.8E+09	70 548
Ni-63	1.2E-07	3 275	1.2E-07	3 275
Np-237	2.3E+00	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	1.3E-03	10 000	1.8E+03	93 260
Pb-210	8.2E-09	10 000	1.3E+05	376 494
Pd-107	3.1E+01	10 000	1.1E+03	23 101
Po-210	9.7E-09	10 000	1.5E+05	376 494
Pu-238	7.4E-23	2 848	7.4E-23	2 848
Pu-239	1.1E-01	10 000	1.2E+04	46 416
Pu-240	2.5E-04	10 000	7.3E+00	35 112
Pu-241	2.4E-40	534	2.4E-40	534
Ra-226	1.6E-10	10 000	1.1E+04	376 494

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ra-228	2.9E-17	10 000	2.0E+02	1 000 000
Sb-125	6.2E-18	76	6.2E-18	76
Se-79	1.0E+04	10 000	1.1E+04	13 219
Sm-151	2.5E-25	3 275	2.5E-25	3 275
Sr-90	4.4E-20	1 417	4.4E-20	1 417
Tc-99	3.1E+06	10 000	6.8E+06	17 475
Th-228	2.3E-18	10 000	1.6E+01	1 000 000
Th-229	9.6E-07	10 000	8.6E+00	247 708
Th-230	1.6E-13	10 000	8.8E+02	376 494
Th-232	2.3E-18	10 000	1.6E+01	1 000 000
Tl-204	2.2E-08	14	2.2E-08	14
U-233	1.9E-04	10 000	1.8E+02	247 708
U-234	9.2E-10	10 000	2.1E+04	247 708
U-235	2.4E-08	10 000	4.7E+02	123 285
U-236	1.7E-09	10 000	2.6E-01	123 285
U-238	1.8E-08	10 000	5.5E+04	123 285

Tabela 7-35: Maksimumi izpustov in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz modela daljne okolice pri nominalnem scenariju



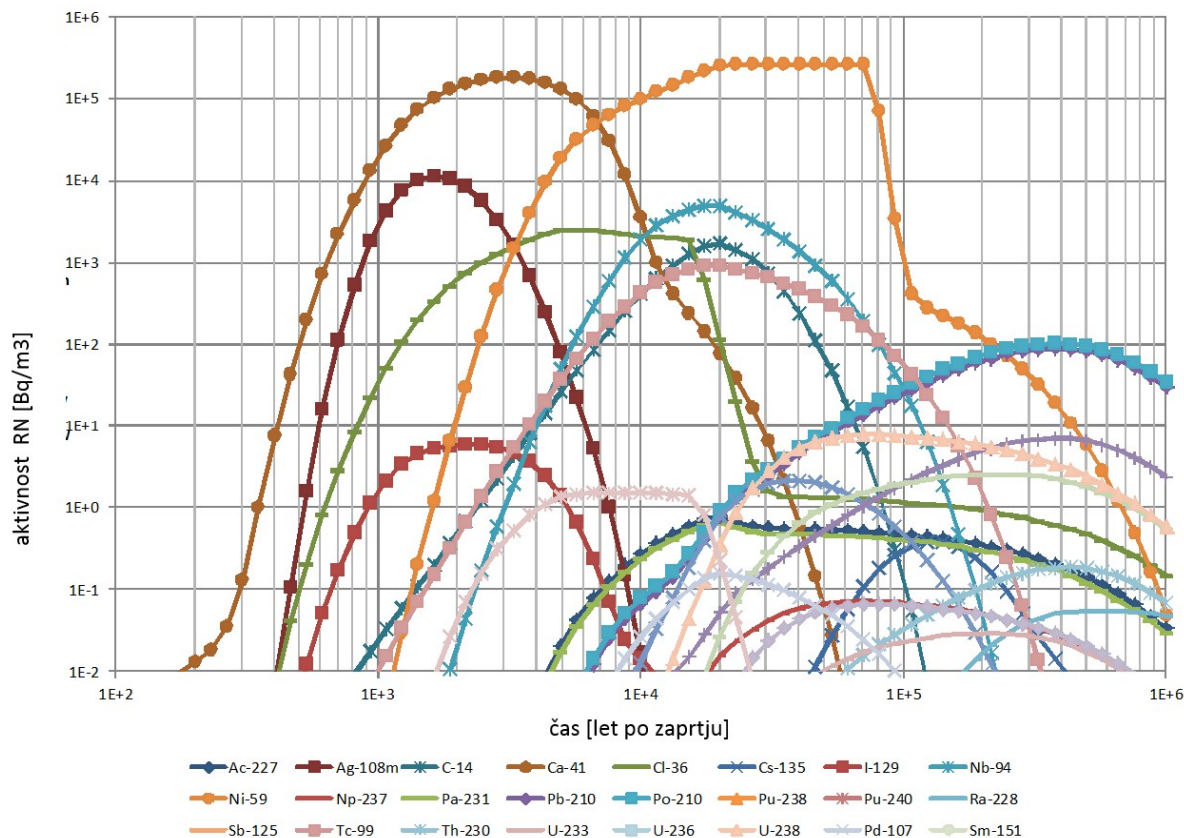
Slika 7-36: Koncentracija radionuklidov v filtrirani vodi iz reke za nominalni scenarij

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	9.2E-14	10 000	1.3E-07	93 260
Ag-108m	8.4E-06	3 765	8.4E-06	3 765
Am-241	4.0E-21	10 000	8.4E-21	13 219
Ba-133	3.6E-16	33	3.6E-16	33
C-14	4.0E-04	10 000	1.6E-03	20 092
Ca-41	1.6E-01	3 275	1.6E-01	3 275
Cd-109	2.8E-75	57	2.8E-75	57
Cd-113m	6.7E-40	534	6.7E-40	534
Cl-36	2.4E-03	5 722	2.4E-03	5 722

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Cm-244	5.8E-87	811	5.8E-87	811
Co-60	5.8E-58	231	5.8E-58	231
Cs-134	1.1E-128	100	1.1E-128	100
Cs-135	1.4E-49	10 000	1.1E-08	869 749
Cs-137	3.3E-89	1 874	3.3E-89	1 874
Eu-152	2.8E-93	614	2.8E-93	614
Eu-154	2.5E-100	404	2.5E-100	404
Eu-155	4.2E-109	231	4.2E-109	231
Fe-55	2.1E-56	115	2.1E-56	115
H-3	7.1E-10	305	7.1E-10	305
I-129	3.7E-06	2 477	3.7E-06	2 477
Na-22	9.8E-19	11	9.8E-19	11
Nb-93m	3.3E-46	534	3.3E-46	534
Nb-94	7.7E-06	10 000	1.4E-04	23 101
Ni-59	2.0E-03	10 000	5.8E-02	70 548
Ni-63	3.8E-18	3 275	3.8E-18	3 275
Np-237	3.0E-10	10 000	7.0E-08	70 548
Pa-231	1.3E-14	10 000	1.8E-08	93 260
Pb-210	1.6E-20	10 000	2.5E-07	376 494
Pd-107	3.3E-34	2 848	3.3E-34	2 848
Po-210	4.7E-13	10 000	5.1E-08	46 416
Pu-238	1.1E-15	10 000	3.2E-11	35 112
Pu-239	1.1E-51	534	1.1E-51	534
Pu-240	1.1E-20	10 000	7.8E-07	376 494
Pu-241	2.0E-27	10 000	1.4E-08	1 000 000

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Ra-226	5.1E-28	76	5.1E-28	76
Ra-228	5.0E-30	1 417	5.0E-30	1 417
Sb-125	5.3E-18	10 000	4.7E-11	247 708
Se-79	8.9E-25	10 000	4.8E-09	376 494
Sm-151	1.3E-29	10 000	8.8E-11	1 000 000
Sr-90	2.9E-18	14	2.9E-18	14
Tc-99	1.4E-14	10 000	1.4E-08	247 708
Th-228	6.8E-20	10 000	1.6E-06	247 708
Th-229	1.8E-18	10 000	3.5E-08	123 285
Th-230	1.3E-19	10 000	1.9E-11	123 285
Th-232	1.3E-18	10 000	4.1E-06	123 285
Tl-204	3.3E-09	10 000	1.2E-07	23 101
U-233	6.7E-07	10 000	7.3E-07	13 219
U-234	1.8E-36	3 275	1.8E-36	3 275
U-235	5.8E-19	10 000	8.7E-06	376 494
U-236	4.1E-04	10 000	8.9E-04	17 475
U-238	1.3E-29	10 000	8.8E-11	1 000 000

Tabela 7-36: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za koncentracijo radionuklidov v reki pri nominalnem scenariju



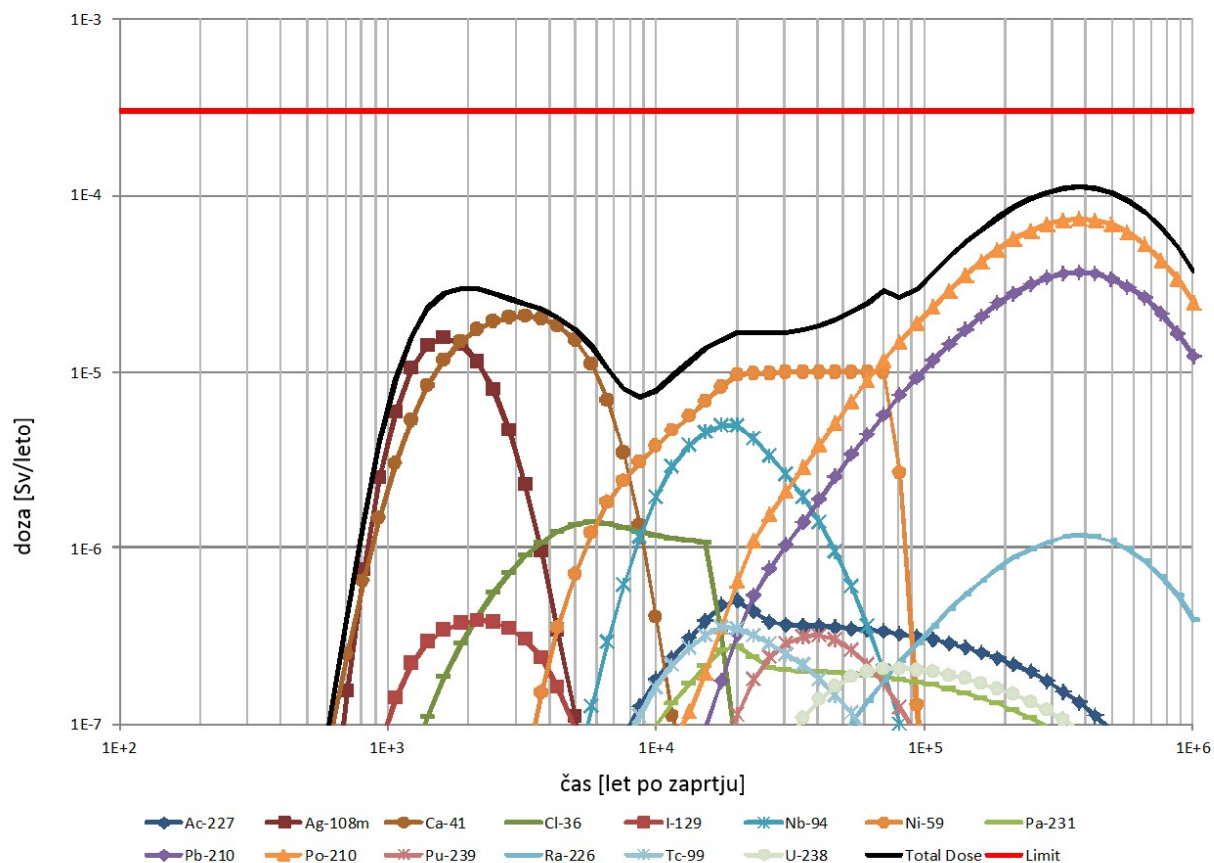
Slika 7-37: Koncentracija radionuklidov v vodnjaku za nominalni scenarij

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	2.7E-01	10 000	7.6E-01	20 092
Ag-108m	1.1E+04	1 630	1.1E+04	1 630
Am-241	1.1E-06	6 579	1.1E-06	6 579
Ba-133	6.6E-10	28	6.6E-10	28
C-14	4.1E+02	10 000	1.7E+03	20 092
Ca-41	1.8E+05	3 275	1.8E+05	3 275
Cd-109	1.0E-30	22	1.0E-30	22
Cd-113m	1.2E-14	201	1.2E-14	201
Cl-36	2.5E+03	5 722	2.5E+03	5 722
Cm-244	1.3E-34	351	1.3E-34	351

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Co-60	9.7E-20	87	9.7E-20	87
Cs-134	3.1E-45	38	3.1E-45	38
Cs-135	2.5E-09	10 000	3.8E-01	123 285
Cs-137	5.0E-29	933	5.0E-29	933
Eu-152	3.7E-36	231	3.7E-36	231
Eu-154	2.8E-39	152	2.8E-39	152
Eu-155	6.4E-43	87	6.4E-43	87
Fe-55	7.8E-17	43	7.8E-17	43
H-3	9.4E-04	305	9.4E-04	305
I-129	5.8E+00	2 154	5.8E+00	2 154
Na-22	4.2E-12	6	4.2E-12	6
Nb-93m	1.0E-23	175	1.0E-23	175
Nb-94	1.9E+03	10 000	4.9E+03	17 475
Ni-59	1.0E+05	10 000	2.6E+05	70 548
Ni-63	2.2E-03	1 630	2.2E-03	1 630
Np-237	4.2E-04	10 000	7.2E-02	70 548
Pa-231	2.3E-01	10 000	6.5E-01	20 092
Pb-210	6.6E-02	10 000	8.9E+01	376 494
Pd-107	9.7E-17	1 417	9.7E-17	1 417
Po-210	1.2E-02	10 000	2.1E+00	40 370
Pu-238	4.3E-05	10 000	2.8E-03	26 561
Pu-239	2.9E-22	201	2.9E-22	201
Pu-240	4.4E-03	10 000	7.0E+00	376 494
Pu-241	2.4E-16	10 000	5.5E-02	572 237
Ra-226	5.6E-10	28	5.6E-10	28

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/m ³)	Čas pojavnosti (leto)
Ra-228	1.1E-08	705	1.1E-08	705
Sb-125	1.6E-09	10 000	1.4E-03	215 443
Se-79	2.4E-08	10 000	1.9E-01	432 876
Sm-151	1.7E-17	10 000	4.3E-03	572 237
Sr-90	8.2E-12	9	8.2E-12	9
Tc-99	4.1E-07	10 000	2.9E-02	215 443
Th-228	5.8E-05	10 000	2.6E+00	247 708
Th-229	1.0E-05	10 000	6.6E-02	81 113
Th-230	3.4E-09	10 000	3.6E-05	81 113
Th-232	1.2E-03	10 000	7.7E+00	81 113
Tl-204	2.6E-02	10 000	1.6E-01	20 092
U-233	1.5E+00	10 000	1.5E+00	10 000
U-234	7.5E-17	1 630	7.5E-17	1 630
U-235	7.7E-02	10 000	1.0E+02	376 494
U-236	4.2E+02	10 000	9.1E+02	17 475
U-238	1.8E-17	10 000	4.3E-03	572 237

Tabela 7-37: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za koncentracijo radionuklidov v vodnjaku pri nominalnem scenariju



Slika 7-38: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za nominalni scenarij. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev (označena kot limit v legendi)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	3.0E-05	1 874	1.1E-04	376 494
Ac-227	1.8E-07	10 000	5.0E-07	20 092
Ag-108m	1.6E-05	1 630	1.6E-05	1 630
Am-241	< 1E-10	6 579	< 1E-10	6 579
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	7.2E-09	10 000	3.0E-08	20 092
Ca-41	2.1E-05	3 275	2.1E-05	3 275
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-113m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cl-36	1.4E-06	5 722	1.4E-06	5 722
Cm-244	< 1E-10	351	< 1E-10	351
Co-60	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	4.5E-10	123 285
Cs-137	< 1E-10	933	< 1E-10	933
Eu-152	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	3.8E-07	2 154	3.8E-07	2 154
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Nb-94	1.9E-06	10 000	5.0E-06	17 475
Ni-59	3.8E-06	10 000	9.9E-06	70 548
Ni-63	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Np-237	< 1E-10	10 000	4.7E-09	70 548
Pa-231	9.9E-08	10 000	2.8E-07	20 092
Pb-210	2.7E-08	10 000	3.7E-05	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	20 092
Po-210	5.6E-08	10 000	7.4E-05	376 494
Pu-238	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-239	1.9E-09	10 000	3.2E-07	40 370
Pu-240	< 1E-10	10 000	4.2E-10	26 561
Pu-241	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Ra-226	7.4E-10	10 000	1.2E-06	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	2.3E-08	572 237
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	2.6E-09	10 000	2.6E-09	10 000
Sm-151	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Sr-90	< 1E-10	705	< 1E-10	705
Tc-99	1.6E-07	10 000	3.5E-07	17 475
Th-228	< 1E-10	10 000	1.9E-10	572 237
Th-229	< 1E-10	10 000	4.0E-10	215 443
Th-230	< 1E-10	10 000	2.3E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	5.9E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	8.8E-10	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	7.5E-08	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	1.8E-09	81 113
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	81 113
U-238	< 1E-10	10 000	2.1E-07	81 113

Tabela 7-38: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri nominalnem scenariju

Iz rezultatov lahko vidimo, da je dominantna pot radionuklidov pitje vode iz vodnjaka, kar je razvidno tudi iz koncentracij, ki so v vodnjaku za nekaj dekad višje, kot so v reki. Kot je omenjeno zgoraj, se vodnjak nahaja v središču potencialne kontaminacije in 100 m od odlagališča. Verjetnost takega razvoja dogodkov (najbolj konzervativno mesto postavitve vodnjaka za pitno vodo) ni bila ovrednotena, čeprav lahko predvidevamo, da bi bila nizka, še

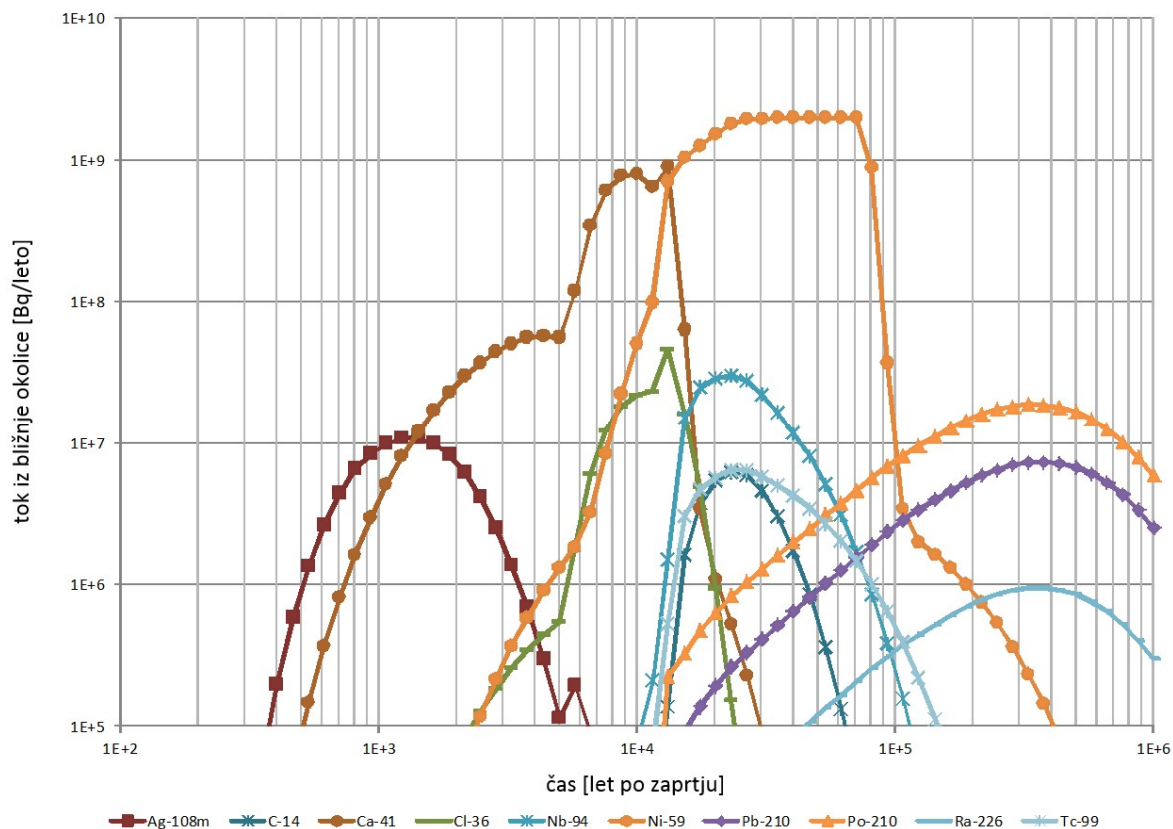
posebej če privzamemo, da v tem primeru ni nobenega razredčenja z nekontaminirano vodo in imamo opravka z relativno ozkim oblakom onesnaženja. Ocenjeno je bilo, kakšna je odvisnost med koncentracijo in oddaljenostjo vodnjaka od odlagališča. Izkazalo se je da je ta odvisnost zelo šibka.

Izračunane letne doze so predstavljene na zgornji sliki (Slika 7-38) in tabeli (Tabela 7-38). Izračunan maksimum doze za celoten čas izračuna (1.000.000 let) je 0,11 mSv/leto in je še vedno pod omejitvijo, predpisano za odlagališče. Radionuklida, ki najbolj prispevata k izračunani dozi sta Pb – 210 in Po -210, ki dosežeta maksimum po 300.000 letih. Maksimalna doza, izračunana v obdobju 10 000 let po zaprtju odlagališča, je 0,03 mSv/leto, kar je 10 krat manj od omejitve in se zgodi 1.900 let po zaprtju odlagališča, dominantna radionuklida pa sta Ca – 41 in Ag -108m.

7.3.6.1.1 Različica nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad

V tem poglavju so predstavljeni rezultati deterministične analize za različico nominalnega scenarija z vključenim alternativnim modelom degradacije inženirskih pregrad, t.i. »konceptualni model 1« degradacije inženirskih barier [73] predstavljen v poglavju 7.3.5.1.2 tega osnVP. Predpostavke za transport radionuklidov v geosferi in biosferi so enake, kot pri nominalnem scenariju.

V tem scenariju je predvideno, da pride do degradacije inženirskih pregrad od zunaj navznoter, to pomeni, da začnejo notranje bariere propadati kasneje od zunanjih. Ta model degradacije je, glede na trenutno stanje znanja in razumevanja, verjetno bolj realen od tistega, privzetega v nominalnem scenariju. Ker pa poznavanje in razlaga takega modela zelo zahtevna in zato še vedno ostaja kar nekaj nezanesljivosti pri določitvi parametrov v tem modelu [73], je bilo na podlagi rezultatov pridobljenih s tem scenarijem odločeno, da se za nominalni scenarij (poglavje 7.3.6.1) tega modela degradacije inženirskih pregrad ne uporabi, temveč, da se za nominalen scenarij uporabi model sočasne degradacije inženirskih barier, ki je tudi bolj konservativen.



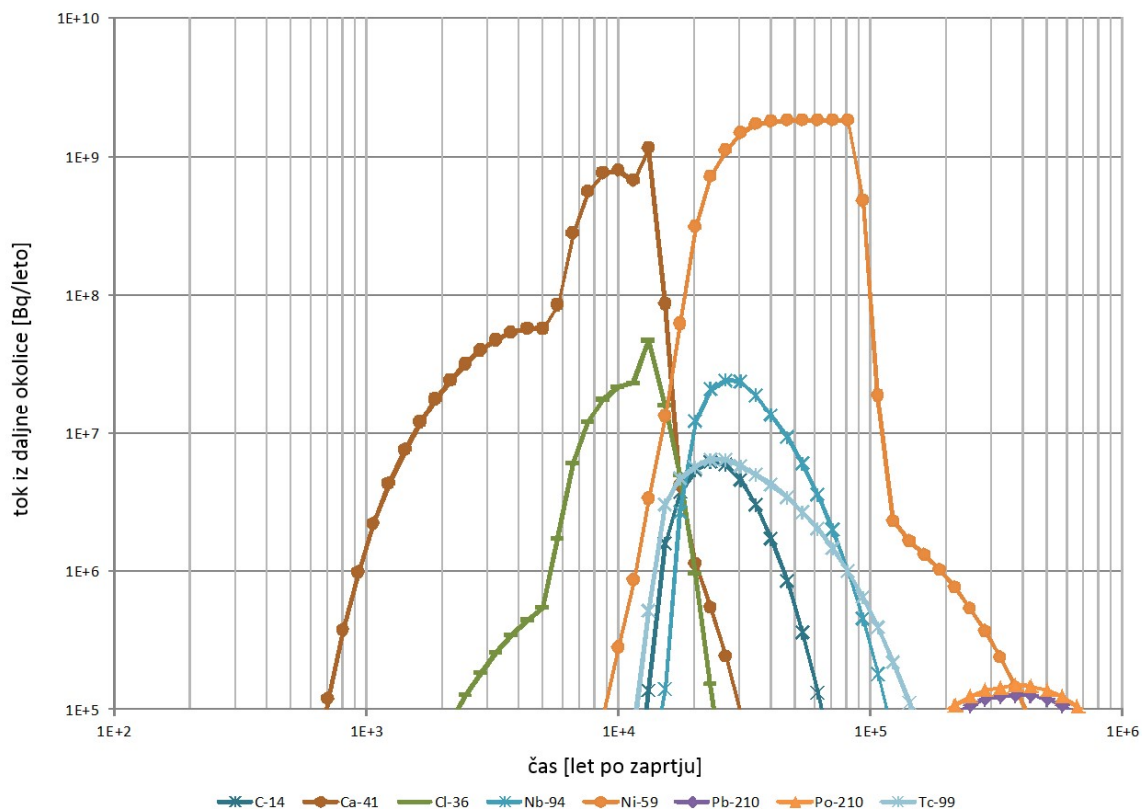
Slika 7-39: Izpusti radionuklidov iz bližnje okolice v daljno okolico odlagališča za različno nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad. (na osi x je prikazan čas po zaprtju odlagališča in na osi y pa izpust v Bq/leto)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	4.8E+03	10 000	6.0E+03	15 199
Ag-108m	1.1E+07	1 233	1.1E+07	1 233
Am-241	1.9E-03	4 329	1.9E-03	4 329
Ba-133	5.2E-06	28	5.2E-06	28
C-14	7.1E+03	10 000	6.2E+06	23 101
Ca-41	7.8E+08	10 000	9.0E+08	13 219
Cd-109	9.7E-10	2	9.7E-10	2
Cd-113m	9.5E-04	38	9.5E-04	38
Cl-36	2.2E+07	10 000	4.7E+07	13 219

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Cm-244	5.4E-09	50	5.4E-09	50
Co-60	4.6E-02	12	4.6E-02	12
Cs-134	1.1E-02	3	1.1E-02	3
Cs-135	7.5E+03	10 000	3.6E+04	15 199
Cs-137	3.1E+00	43	3.1E+00	43
Eu-152	2.7E-08	33	2.7E-08	33
Eu-154	2.9E-09	22	2.9E-09	22
Eu-155	4.4E-10	11	4.4E-10	11
Fe-55	6.2E+02	4	6.2E+02	4
H-3	3.1E-01	305	3.1E-01	305
I-129	2.6E+04	7 565	2.6E+04	7 565
Na-22	4.0E-08	5	4.0E-08	5
Nb-93m	3.2E-14	25	3.2E-14	25
Nb-94	7.7E+04	10 000	3.0E+07	23 101
Ni-59	5.1E+07	10 000	2.0E+09	70 548
Ni-63	8.9E+01	933	8.9E+01	933
Np-237	5.6E-03	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	4.8E+03	10 000	6.5E+03	15 199
Pb-210	3.2E+03	10 000	7.3E+06	376 494
Pd-107	1.7E+00	10 000	1.1E+03	23 101
Po-210	3.4E+03	10 000	1.9E+07	327 455
Pu-238	5.1E-10	404	5.1E-10	404
Pu-239	3.6E-01	10 000	1.4E+04	40 370
Pu-240	1.2E-03	10 000	1.6E+01	30 539

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-241	2.0E-09	22	2.0E-09	22
Ra-226	2.8E+02	10 000	9.4E+05	376 494
Ra-228	3.1E-02	10 000	2.0E+04	376 494
Sb-125	6.0E-02	4	6.0E-02	4
Se-79	1.1E+04	10 000	4.1E+04	13 219
Sm-151	4.7E-09	404	4.7E-09	404
Sr-90	1.1E+00	404	1.1E+00	404
Tc-99	2.7E+04	10 000	6.4E+06	26 561
Th-228	5.2E-05	10 000	3.3E+01	376 494
Th-229	5.3E-06	10 000	3.7E+01	215 443
Th-230	6.5E-05	10 000	2.7E+03	376 494
Th-232	7.2E-06	10 000	3.3E+01	376 494
Tl-204	7.2E-08	8	7.2E-08	8
U-233	2.2E-04	10 000	2.2E+02	215 443
U-234	2.4E-02	10 000	1.9E+04	247 708
U-235	4.2E-03	10 000	4.9E+02	70 548
U-236	1.5E-06	10 000	2.7E-01	70 548
U-238	4.9E-01	10 000	5.7E+04	70 548

Tabela 7-39: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz silosa za različico nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad



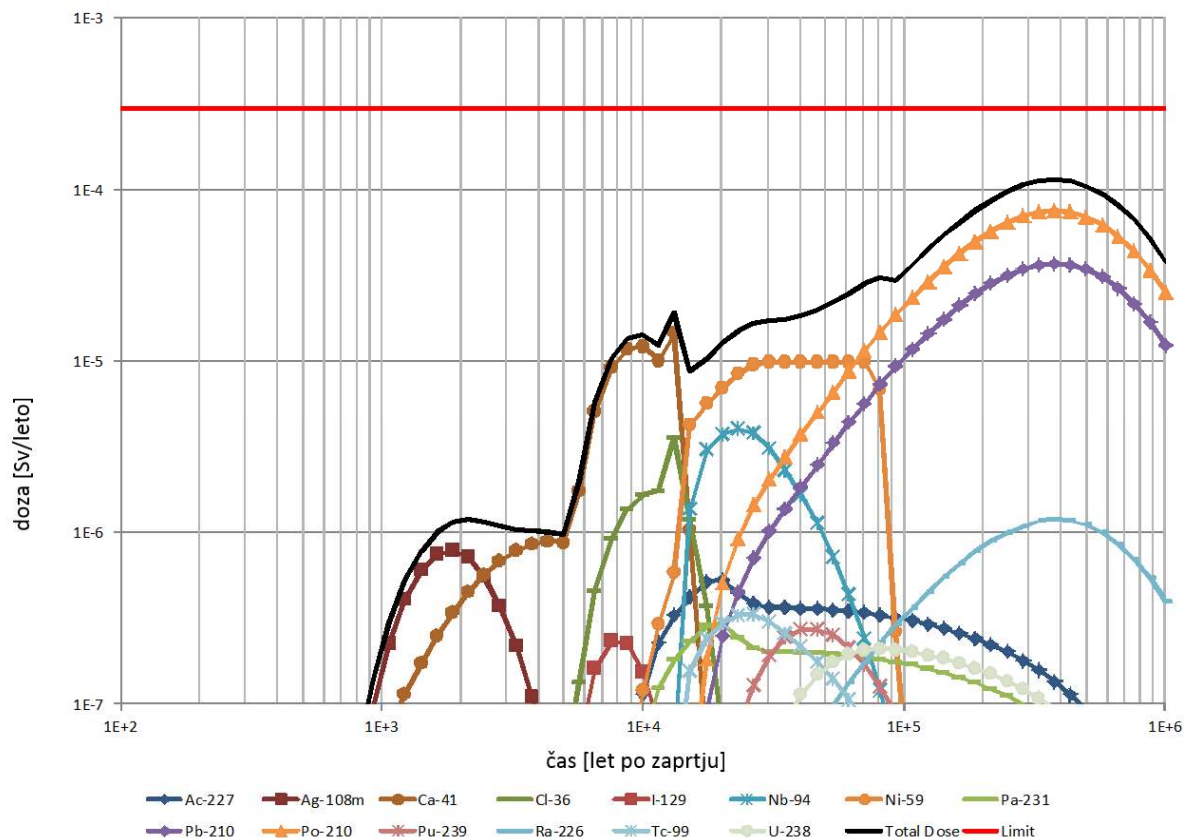
Slika 7-40: Izpusti radionuklidov iz geosfere (drenaža v reko) za različico nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad (na osi x je prikazan čas po zaprtju odlagališča in na osi y pa izpust v Bq/leto)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ac-227	6.2E-05	10 000	2.1E+03	93 260
Ag-108m	4.3E+04	3 765	4.3E+04	3 765
Am-241	1.5E-12	10 000	2.2E-12	11 498
Ba-133	3.4E-06	33	3.4E-06	33
C-14	7.1E+03	10 000	6.1E+06	23 101
Ca-41	7.9E+08	10 000	1.2E+09	13 219
Cd-109	2.5E-64	57	2.5E-64	57
Cd-113m	5.8E-29	534	5.8E-29	534
Cl-36	2.2E+07	10 000	4.7E+07	13 219
Cm-244	7.1E-77	811	7.1E-77	811

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Co-60	2.8E-47	231	2.8E-47	231
Cs-134	3.9E-118	100	3.9E-118	100
Cs-135	5.3E-41	10 000	3.8E+02	869 749
Cs-137	1.7E-79	1 630	1.7E-79	1 630
Eu-152	1.7E-82	614	1.7E-82	614
Eu-154	1.5E-89	404	1.5E-89	404
Eu-155	2.6E-98	231	2.6E-98	231
Fe-55	1.6E-46	115	1.6E-46	115
H-3	2.4E-01	305	2.4E-01	305
I-129	2.6E+04	8 697	2.6E+04	8 697
Na-22	7.5E-09	11	7.5E-09	11
Nb-93m	7.2E-35	534	7.2E-35	534
Nb-94	3.8E+03	10 000	2.4E+07	26 561
Ni-59	2.8E+05	10 000	1.8E+09	81 113
Ni-63	2.0E-09	2 848	2.0E-09	2 848
Np-237	3.8E-03	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	5.3E-05	10 000	1.8E+03	93 260
Pb-210	4.4E-11	10 000	1.3E+05	376 494
Pd-107	6.3E-02	10 000	1.1E+03	30 539
Po-210	5.2E-11	10 000	1.5E+05	376 494
Pu-238	2.2E-23	2 477	2.2E-23	2 477
Pu-239	2.8E-04	10 000	1.0E+04	53 367
Pu-240	5.0E-07	10 000	4.6E+00	40 370
Pu-241	2.4E-40	534	2.4E-40	534
Ra-226	8.9E-13	10 000	1.1E+04	376 494

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ra-228	7.2E-20	10 000	2.0E+02	1 000 000
Sb-125	6.2E-18	76	6.2E-18	76
Se-79	1.1E+03	10 000	2.3E+04	17 475
Sm-151	8.3E-26	2 848	8.3E-26	2 848
Sr-90	1.5E-21	1 233	1.5E-21	1 233
Tc-99	2.7E+04	10 000	6.4E+06	26 561
Th-228	5.7E-21	10 000	1.6E+01	1 000 000
Th-229	1.7E-09	10 000	8.7E+00	247 708
Th-230	6.7E-16	10 000	8.9E+02	376 494
Th-232	5.7E-21	10 000	1.6E+01	1 000 000
Tl-204	2.2E-08	14	2.2E-08	14
U-233	3.2E-07	10 000	1.8E+02	247 708
U-234	3.6E-12	10 000	2.1E+04	247 708
U-235	7.0E-11	10 000	4.7E+02	123 285
U-236	3.8E-12	10 000	2.6E-01	123 285
U-238	6.6E-11	10 000	5.5E+04	123 285

Tabela 7-40: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz modela daljne okolice za različico nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad



Slika 7-41: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za različno nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev (označena kot limit v legendi), (na osi x je prikazan čas po zaprtju odlagališča in na osi y pa doza v Sv/leto)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	1.4E-05	10 000	1.1E-04	376 494
Ac-227	1.1E-07	10 000	5.2E-07	20 092
Ag-108m	7.8E-07	1 874	7.8E-07	1 874
Am-241	< 1E-10	6 579	< 1E-10	6 579
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	< 1E-10	10 000	1.5E-08	23 101
Ca-41	1.2E-05	10 000	1.4E-05	13 219
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-113m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cl-36	1.7E-06	10 000	3.5E-06	13 219
Cm-244	< 1E-10	351	< 1E-10	351
Co-60	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	4.5E-10	141 747
Cs-137	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Eu-152	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	2.3E-07	7 565	2.3E-07	7 565
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Nb-94	6.4E-09	10 000	4.0E-06	23 101
Ni-59	1.2E-07	10 000	9.9E-06	70 548
Ni-63	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Np-237	< 1E-10	10 000	4.7E-09	70 548
Pa-231	6.3E-08	10 000	2.9E-07	20 092
Pb-210	3.4E-10	10 000	3.7E-05	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	26 561
Po-210	6.8E-10	10 000	7.5E-05	376 494
Pu-238	< 1E-10	1 072	< 1E-10	1 072

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-239	< 1E-10	10 000	2.7E-07	46 416
Pu-240	< 1E-10	10 000	2.7E-10	30 539
Pu-241	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Ra-226	< 1E-10	10 000	1.2E-06	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	2.3E-08	572 237
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	2.2E-09	10 000	6.2E-09	13 219
Sm-151	< 1E-10	1 233	< 1E-10	1 233
Sr-90	< 1E-10	705	< 1E-10	705
Tc-99	1.4E-09	10 000	3.3E-07	26 561
Th-228	< 1E-10	10 000	1.9E-10	572 237
Th-229	< 1E-10	10 000	4.1E-10	215 443
Th-230	< 1E-10	10 000	2.4E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	5.9E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	8.9E-10	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	7.6E-08	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	1.9E-09	81 113
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	81 113
U-238	< 1E-10	10 000	2.1E-07	81 113

Tabela 7-41: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo za različico nominalnega scenarija z alternativno degradacijo inženirskih pregrad

Maksimum skupne doze na predstavnika najbolj izpostavljene skupine prebivalstva je enak kot pri nominalnem scenariju in ravno tako sta radionuklida, ki največ prispevata, Pb – 210 in Po – 210. Maksimum torej ni odvisen od izbire degradacijskega modela inženirskih pregrad.

Maksimalna izračunana doza za obdobje 10.000 let po zaprtju odlagališča je 0,014 mSv/leto, kar je dvakrat manj kot v nominalnem scenariju. Ravno tako kot pri nominalnem scenariju je tudi tu prvi – tisti ki prispeva največ k skupni dozi, Ca – 41. Doze za Ag – 108m so bistveno nižje kot v nominalnem scenariju, kar lahko razložimo z relativno kratko razpolovno dobo tega radionuklida v kombinaciji z daljšim začetnim zadrževalnim časom radionuklida v silosu – znotraj inženirskih barier, ki sledijo iz alternativnega modela degradacije. Za to različico nominalnega scenarija je Cl – 36 drugi radionuklid, ki največ prispeva h skupni dozi v prvih 10.000 letih po zaprtju odlagališča. Kakor v nominalnem scenariju je tudi tu dominantna pot radionuklidov iz bližnje okolice do predstavnika najbolj izpostavljenе skupine prebivalstva preko uživanja vode iz vodnjaka.

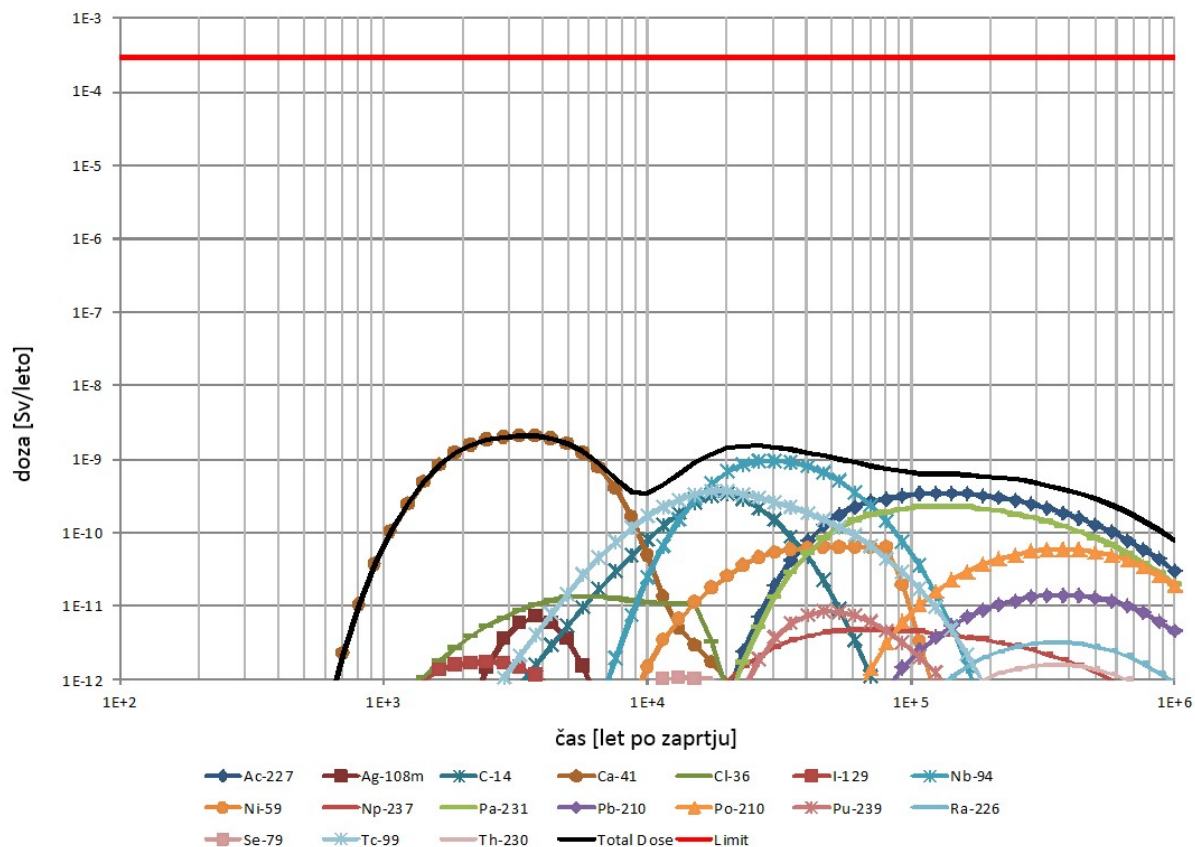
Rezultati potrjujejo, da je ta model razpada inženirskih pregrad manj konzervativen od t.i. sočasnega modela, vendar ne bistveno. Kakor je omenjeno že zgoraj, so določene predpostavke tega modela nekoliko nezanesljive [73] in je zato pri nominalnem scenariju uporabljen model sočasne degradacije inženirskih pregrad.

7.3.6.1.2 Različica nominalnega scenarija brez vodnjaka

V nominalnem scenariju je predpostavljeno, da je vodnjak umeščen v sredino kontaminacijskega oblaka. Privzamemo lahko, da je verjetnost, da se to zgodi zelo nizka. Veliko bolj verjetno je, da se zgradi vodnjak, ki le deloma prestreže oblak kontaminacije in je dlje od odlagališča. Za namen tega scenarija so bili opravljeni izračuni, kjer je bil vodnjak popolnoma izključen – ocenjene doze izhajajo le zaradi izpostavljenosti vodi iz reke Save. Ta izračun omogoča oceno vpliva vodnjaka v nominalnem scenariju in potencialno zmanjšanje doz, ki bi izhajale iz bolj realistične obravnave vodnjaka.

Izpust radionuklidov iz bližnje in daljne okolice odlagališča je za ta scenarij enak kot pri nominalnem scenariju.

Izračunane doze so predstavljene v nadaljevanju.



Slika 7-42: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za različno nominalnega scenarija brez vodnjaka. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev (označena kot limit v legendi), (na osi x je prikazan čas po zaprtju odlagališča in na osi y pa doza v Sv/leto)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	2.1E-09	3 275	2.1E-09	3 275
Ac-227	< 1E-10	10 000	3.4E-10	123 285
Ag-108m	< 1E-10	3 765	< 1E-10	3 765
Am-241	< 1E-10	10 000	< 1E-10	13 219
Ba-133	< 1E-10	33	< 1E-10	33
C-14	< 1E-10	10 000	3.3E-10	20 092
Ca-41	2.0E-09	3 275	2.0E-09	3 275

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57
Cd-113m	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Cl-36	< 1E-10	5 722	< 1E-10	5 722
Cm-244	< 1E-10	811	< 1E-10	811
Co-60	< 1E-10	231	< 1E-10	231
Cs-134	< 1E-10	100	< 1E-10	100
Cs-135	< 1E-10	10 000	< 1E-10	1 000 000
Cs-137	< 1E-10	1 874	< 1E-10	1 874
Eu-152	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Eu-154	< 1E-10	404	< 1E-10	404
Eu-155	< 1E-10	231	< 1E-10	231
Fe-55	< 1E-10	115	< 1E-10	115
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	< 1E-10	2 477	< 1E-10	2 477
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Nb-94	< 1E-10	10 000	9.5E-10	30 539
Ni-59	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
Ni-63	< 1E-10	3 275	< 1E-10	3 275
Np-237	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
Pa-231	< 1E-10	10 000	2.3E-10	123 285
Pb-210	< 1E-10	10 000	< 1E-10	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	26 561
Po-210	< 1E-10	10 000	< 1E-10	376 494

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-238	< 1E-10	2 848	< 1E-10	2 848
Pu-239	< 1E-10	10 000	< 1E-10	46 416
Pu-240	< 1E-10	10 000	< 1E-10	35 112
Pu-241	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Ra-226	< 1E-10	10 000	< 1E-10	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	< 1E-10	1 000 000
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	< 1E-10	10 000	< 1E-10	13 219
Sm-151	< 1E-10	3 275	< 1E-10	3 275
Sr-90	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417
Tc-99	1.7E-10	10 000	3.6E-10	17 475
Th-228	< 1E-10	10 000	< 1E-10	1 000 000
Th-229	< 1E-10	10 000	< 1E-10	284 804
Th-230	< 1E-10	10 000	< 1E-10	327 455
Th-232	< 1E-10	10 000	< 1E-10	1 000 000
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	< 1E-10	247 708
U-234	< 1E-10	10 000	< 1E-10	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	< 1E-10	162 975
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	141 747
U-238	< 1E-10	10 000	< 1E-10	162 975

Tabela 7-42: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri različici nominalnega scenarija brez vodnjaka

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanaj izpostavljenost	Zaužitje e pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Ac-227	3.6E-17	10 000	0%	0%	0%	73%	9%	17%	0%
Ag-108m	7.1E-12	3 765	0%	0%	86%	7%	2%	4%	1%
Am-241	1.9E-26	10 000	3%	1%	0%	64%	1%	0%	31%
Ba-133	1.1E-24	33	31%	0%	5%	61%	0%	1%	2%
C-14	8.1E-11	10 000	0%	0%	0%	2%	0%	1%	97%
Ca-41	2.0E-09	3 275	1%	0%	0%	90%	2%	6%	1%
Cd-109	3.9E-81	57	0%	0%	0%	7%	0%	0%	93%
Cd-113m	1.5E-44	534	0%	0%	0%	34%	0%	0%	66%
Cl-36	1.4E-11	5 722	10%	0%	0%	33%	10%	25%	23%
Cm-244	4.4E-91	811	0%	0%	0%	0%	0%	0%	99%
Co-60	7.1E-65	231	2%	0%	73%	18%	0%	0%	6%
Cs-134	1.8E-134	100	1%	0%	1%	5%	3%	2%	87%
Cs-135	2.5E-56	10 000	1%	0%	0%	6%	5%	4%	84%
Cs-137	3.9E-95	1 874	1%	0%	4%	6%	4%	3%	83%
Eu-152	2.0E-99	614	0%	0%	16%	54%	10%	20%	1%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanaj izpostavljenost	Zaužitje e pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Eu-154	1.9E-106	404	0%	0%	13%	54%	11%	21%	1%
Eu-155	3.0E-116	231	0%	0%	2%	58%	13%	25%	2%
Fe-55	5.0E-65	115	8%	0%	0%	14%	5%	0%	72%
H-3	3.9E-20	305	46%	0%	0%	26%	7%	19%	2%
I-129	1.7E-12	2 477	14%	0%	0%	38%	7%	19%	21%
Na-22	1.9E-26	11	10%	0%	11%	16%	7%	19%	38%
Nb-93m	2.6E-53	534	0%	0%	0%	4%	0%	0%	95%
Nb-94	2.4E-11	10 000	0%	0%	64%	2%	0%	0%	34%
Ni-59	1.4E-12	10 000	5%	0%	0%	49%	35%	5%	6%
Ni-63	5.7E-27	3 275	6%	0%	0%	48%	34%	5%	6%
Np-237	2.1E-14	10 000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	99%
Pa-231	2.8E-17	10 000	0%	0%	0%	58%	7%	13%	21%
Pb-210	8.1E-25	10 000	1%	0%	0%	94%	2%	2%	1%
Pd-107	9.4E-17	10 000	0%	0%	0%	12%	2%	4%	82%
Po-210	3.6E-24	10 000	12%	0%	0%	38%	28%	1%	21%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanaj izpostavljenost	Zaužitje e pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Pu-238	5.0E-38	2 848	0%	0%	0%	4%	0%	0%	95%
Pu-239	7.7E-17	10 000	0%	0%	0%	4%	0%	0%	95%
Pu-240	1.8E-19	10 000	0%	0%	0%	4%	0%	0%	95%
Pu-241	3.3E-57	534	0%	0%	0%	4%	0%	0%	96%
Ra-226	1.1E-26	10 000	17%	0%	11%	63%	3%	2%	3%
Ra-228	5.0E-33	10 000	17%	0%	4%	70%	3%	2%	3%
Sb-125	2.9E-36	76	12%	0%	35%	30%	1%	0%	22%
Se-79	9.5E-13	10 000	0%	0%	0%	53%	6%	4%	37%
Sm-151	5.2E-43	3 275	0%	0%	0%	57%	7%	15%	21%
Sr-90	4.3E-37	1 417	19%	0%	0%	64%	3%	11%	3%
Tc-99	1.7E-10	10 000	0%	0%	0%	1%	0%	0%	98%
Th-228	5.1E-34	10 000	0%	2%	62%	6%	0%	30%	0%
Th-229	5.9E-21	10 000	0%	4%	5%	6%	0%	84%	0%
Th-230	1.8E-29	10 000	1%	2%	0%	27%	0%	70%	0%
Th-232	5.6E-34	10 000	0%	4%	0%	16%	0%	79%	0%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanaj izpostavljenost	Zaužitje pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
TI-204	1.6E-25	16	1%	0%	0%	24%	6%	11%	58%
U-233	4.0E-21	10 000	11%	3%	0%	68%	1%	17%	1%
U-234	9.5E-27	10 000	21%	0%	0%	65%	1%	12%	1%
U-235	2.8E-25	10 000	18%	1%	9%	60%	1%	11%	1%
U-236	1.8E-26	10 000	20%	1%	0%	65%	1%	12%	1%
U-238	1.7E-25	10 000	21%	0%	1%	64%	1%	12%	1%

Tabela 7-43: Doprinos različnih poti izpostavljenosti k maksimalni dozi za različico nominalnega scenarija brez vodnjaka

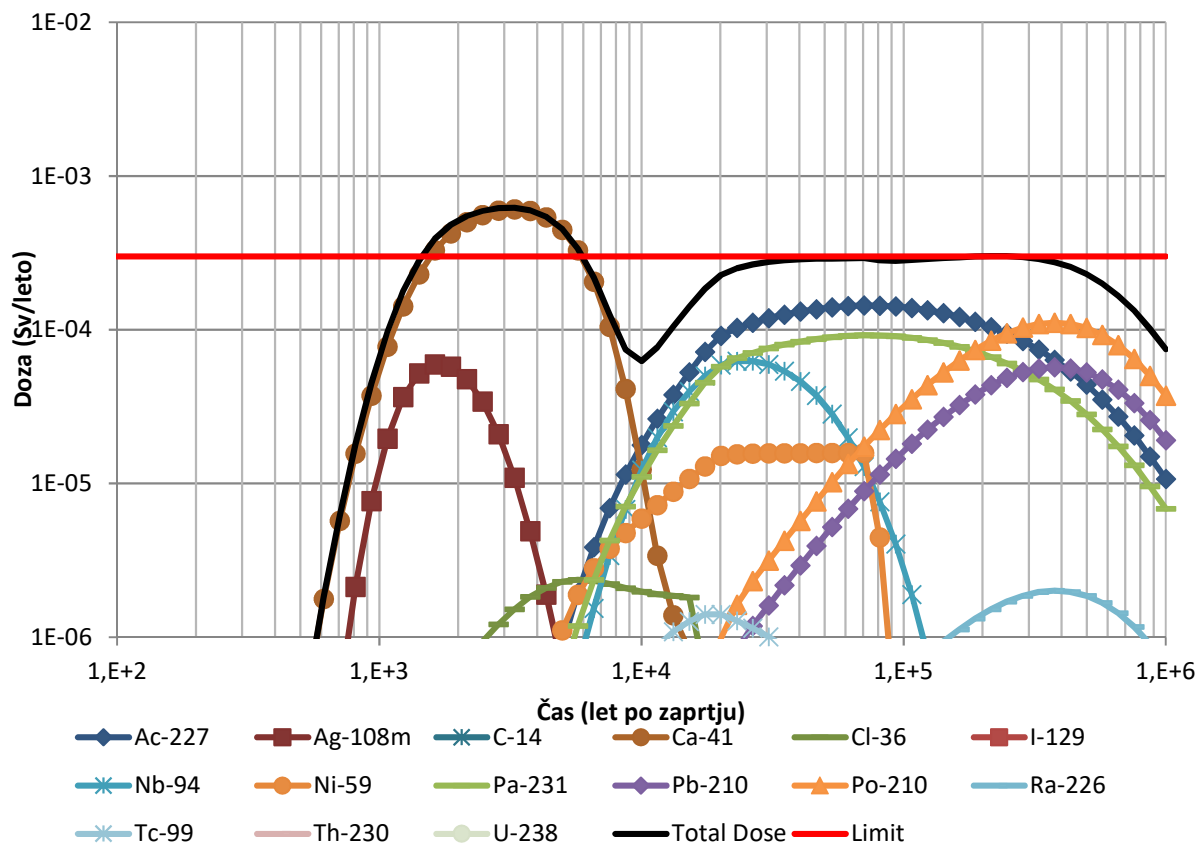
Do maksimalne izračunane doze pride pri okoli 3.000 letih po zaprtju odlagališča in znaša 2×10^{-6} mSv/leto. Za celotno obdobje so izračunane vrednosti doze veliko (več redov velikosti) nižje od doz, izračunanih za nominalni scenarij, kar kaže na dominanten doprinos zaužitja vode iz vodnjaka pri nominalnem scenariju. Zgornja tabela doprinosa različnih poti izpostavljenosti k skupni dozi kaže, da je za različne radionuklide doprinos različen. Npr. za Ca – 41 je glavni doprinos zaužitje pridelkov, ki izhajajo iz namakanega področja, za C -14 zaužitje vodnih živali iz reke in za Ag – 108m zunanja izpostavljenost radionuklidom, akumuliranih v zemlji zaradi namakanja.

7.3.6.1.3 Različica nominalnega scenarija s konzervativno predpostavko uporabe vodnjaka

Za področje odlagališča NSRAO niso značilni vodnjaki, predvsem zaradi neugodnih hidroloških pogojev. Kljub temu je bila v nominalnem scenariju upoštevana uporaba vodnjaka za pitje vode. Uporaba te vode (iz vodnjaka) za namakanje in napajanje živine je bila ocenjena kot malo verjetna (predvsem zaradi bližine reke) in zato v nominalnem scenariju ni bila upoštevana. Da je bil ocenjen potencialen vpliv teh izključenih uporab, je bil pripravljen scenarij Različica nominalnega scenarija s konzervativno predpostavko uporabe vodnjaka za črpanje vode, kjer se voda iz vodnjaka uporablja za namakanje poljščin in napajanje goveda. Rezultati izračunov teh dveh podscenarijev (čeprav zelo malo verjetnih) so predstavljeni v nadaljevanju.

7.3.6.1.3.1 Uporaba vode iz vodnjaka za namakanje poljščin in zelenjave

Vse predpostavke so pri tem pod scenariju enake kot za nominalni scenarij, le da se voda iz vodnjaka poleg uporabe za pitje uporablja tudi za namakanje poljščin in zelenjave. Izračun je bil narejen za primer, ko se manjše polje namaka z vodo iz vodnjaka in se uporablja za pridelavo zelenjave. Privzeto je bilo, da je vsa zelenjava (137 kg/leto), ki jo zaužije predstavnik najbolj izpostavljenе skupine prebivalstva, pridelana na tem polju, in da ta predstavnik preživi 500 h/leto na območju, ki je kontaminirano.



Slika 7-43: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljenе skupine prebivalstva za različico nominalnega scenarija, kjer je voda iz vodnjaka uporabljena za namakanje. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev (označena kot limit v legendi)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	6.2E-04	3 275	6.2E-04	3 275
Ac-227	1.8E-05	10 000	1.4E-04	70 548

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Ag-108m	6.0E-05	1 630	6.0E-05	1 630
Am-241	< 1E-10	6 579	< 1E-10	6 579
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	2.2E-07	10 000	9.0E-07	20 092
Ca-41	6.1E-04	3 275	6.1E-04	3 275
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57
Cd-113m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cl-36	2.4E-06	5 722	2.4E-06	5 722
Cm-244	< 1E-10	351	< 1E-10	351
Co-60	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	9.0E-10	141 747
Cs-137	< 1E-10	933	< 1E-10	933
Eu-152	< 1E-10	351	< 1E-10	351
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	6.3E-07	2 154	6.3E-07	2 154
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Nb-94	1.2E-05	10 000	6.3E-05	26 561
Ni-59	5.9E-06	10 000	1.6E-05	70 548
Ni-63	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Np-237	< 1E-10	10 000	7.4E-09	70 548
Pa-231	1.1E-05	10 000	9.2E-05	70 548
Pb-210	4.3E-08	10 000	5.7E-05	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	20 092
Po-210	8.3E-08	10 000	1.1E-04	376 494
Pu-238	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417
Pu-239	2.9E-09	10 000	4.9E-07	40 370
Pu-240	< 1E-10	10 000	6.5E-10	26 561
Pu-241	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Ra-226	1.2E-09	10 000	2.0E-06	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	3.7E-08	572 237
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	1.8E-07	10 000	1.8E-07	10 000
Sm-151	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Sr-90	< 1E-10	705	< 1E-10	705
Tc-99	6.5E-07	10 000	1.4E-06	17 475
Th-228	< 1E-10	10 000	8.4E-10	657 933
Th-229	< 1E-10	10 000	9.7E-10	247 708
Th-230	< 1E-10	10 000	4.2E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	9.7E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	14	< 1E-10	14
U-233	< 1E-10	10 000	1.6E-09	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	1.4E-07	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	3.4E-09	93 260

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	81 113
U-238	< 1E-10	10 000	3.6E-07	81 113

Tabela 7-44: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri nominalnem pod scenariju Uporaba vode iz vodnjaka za namakanje poljščin in zelenjave

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanja izpostavljenost	Zaužitje pridelkov	Zaužitje mesa	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Total dose	6.2E-04	3 275	4%	0%	1%	95%	0%	0%	0%
Ac-227	1.8E-05	10 000	1%	0%	0%	99%	0%	0%	0%
Ag-108m	6.0E-05	1 630	26%	0%	60%	14%	0%	0%	0%
Am-241	2.1E-13	6 579	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Ba-133	1.3E-20	305	65%	0%	1%	35%	0%	0%	0%
C-14	2.2E-07	10 000	3%	0%	0%	97%	0%	0%	0%
Ca-41	6.1E-04	3 275	3%	0%	0%	97%	0%	0%	0%
Cd-109	3.6E-81	57	0%	0%	0%	1%	0%	0%	99%
Cd-113m	8.6E-23	305	52%	0%	0%	48%	0%	0%	0%
Cl-36	2.4E-06	5 722	59%	0%	0%	41%	0%	0%	0%
Cm-244	1.4E-41	351	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Co-60	1.6E-34	305	55%	0%	13%	32%	0%	0%	0%
Cs-134	2.9E-109	305	65%	0%	1%	34%	0%	0%	0%
Cs-135	4.8E-18	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%
Cs-137	6.3E-37	933	62%	0%	4%	34%	0%	0%	0%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunaj izpostavljenost	Zaužitje pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Eu-152	3.2E-44	351	4%	0%	4%	92%	0%	0%	0%
Eu-154	7.6E-49	305	13%	0%	3%	84%	0%	0%	0%
Eu-155	1.1E-58	305	13%	0%	0%	86%	0%	0%	0%
Fe-55	5.9E-55	305	63%	0%	0%	37%	0%	0%	0%
H-3	2.8E-14	305	83%	0%	0%	17%	0%	0%	0%
I-129	6.3E-07	2 154	60%	0%	0%	40%	0%	0%	0%
Na-22	1.5E-26	11	12%	0%	1%	7%	8%	24%	47%
Nb-93m	2.4E-34	305	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Nb-94	1.2E-05	10 000	16%	0%	75%	9%	0%	0%	0%
Ni-59	5.9E-06	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%
Ni-63	3.0E-13	1 630	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Np-237	4.3E-11	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%
Pa-231	1.1E-05	10 000	1%	0%	0%	99%	0%	0%	0%
Pb-210	4.3E-08	10 000	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Pd-107	9.2E-13	10 000	63%	0%	0%	37%	0%	0%	0%
Po-210	8.3E-08	10 000	67%	0%	0%	33%	0%	0%	0%
Pu-238	2.1E-23	1 417	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Pu-239	2.9E-09	10 000	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Pu-240	9.9E-12	10 000	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Pu-241	4.3E-31	305	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Ra-226	1.2E-09	10 000	63%	0%	2%	36%	0%	0%	0%
Ra-228	1.5E-22	10 000	65%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
Sb-125	1.3E-36	76	25%	0%	4%	21%	2%	0%	47%
Se-79	1.8E-07	10 000	1%	0%	0%	99%	0%	0%	0%

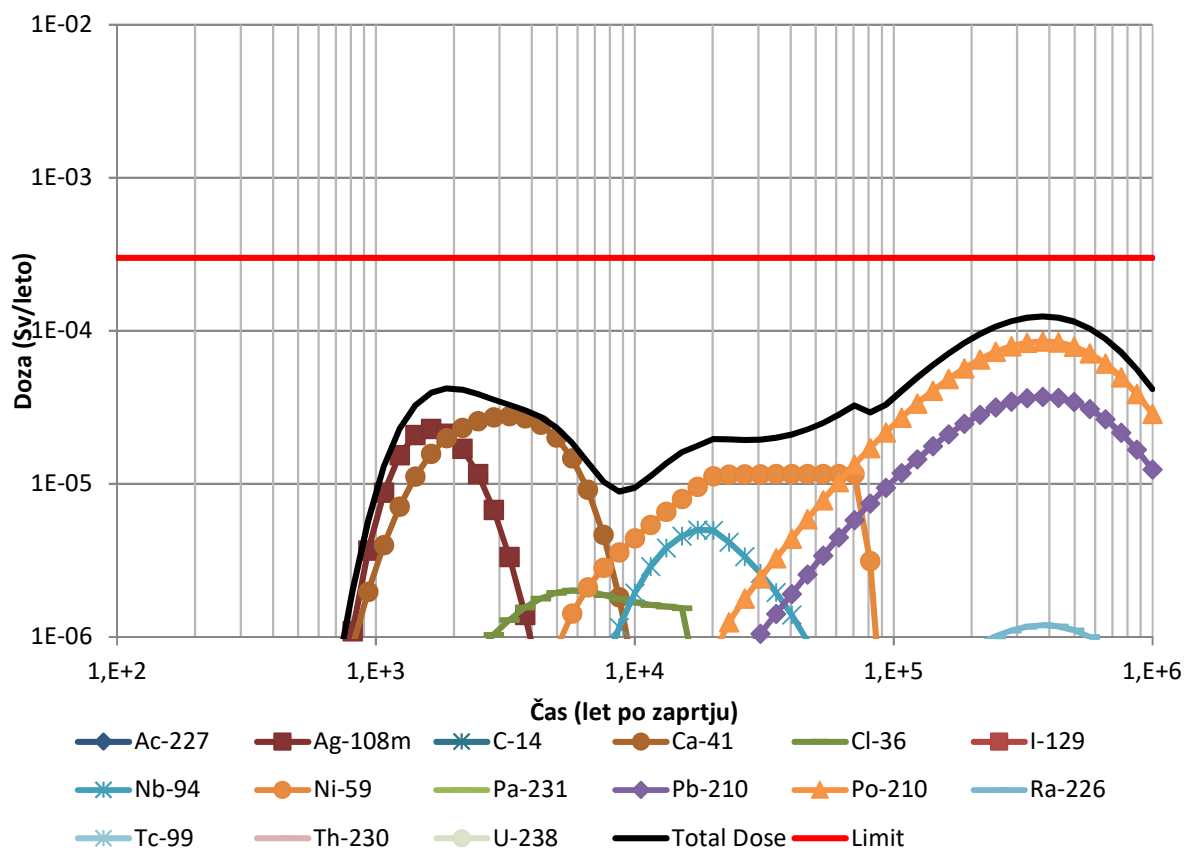
Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunaj izpostavljenost	Zaužitje pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Sm-151	2.2E-25	1 630	2%	0%	0%	98%	0%	0%	0%
Sr-90	3.2E-16	705	59%	0%	0%	41%	0%	0%	0%
Tc-99	6.5E-07	10 000	25%	0%	0%	75%	0%	0%	0%
Th-228	1.6E-24	10 000	49%	1%	24%	26%	0%	0%	0%
Th-229	8.1E-16	10 000	59%	4%	4%	34%	0%	0%	0%
Th-230	4.7E-15	10 000	64%	1%	0%	35%	0%	0%	0%
Th-232	3.6E-24	10 000	64%	1%	0%	35%	0%	0%	0%
Tl-204	1.3E-25	14	2%	0%	0%	8%	6%	12%	72%
U-233	2.0E-14	10 000	63%	0%	0%	37%	0%	0%	0%
U-234	2.7E-12	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%
U-235	4.5E-13	10 000	63%	0%	1%	36%	0%	0%	0%
U-236	1.5E-16	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%
U-238	5.0E-11	10 000	64%	0%	0%	36%	0%	0%	0%

Tabela 7-45: Doprinos različnih poti izpostavljenosti k maksimalni dozi pri nominalnem podscenariju
Uporaba vode iz vodnjaka za namakanje poljščin in zelenjave

Doprinos različnih poti izpostavljenosti k maksimalni dozi je različen za različne radionuklide. Za vse radionuklide, razen za Ca-41, so doze skozi celotno simulacijo pod predpisano omejitvijo 0,3 mSv/leto. Maksimalna koncentracija za Ca - 41 doseže vrednosti približno dvakratnik predpisane omejitve, 3.000 let po zaprtju odlagališča. Pri tem moramo upoštevati, da pri izračunu izpustov Ca-41 ni bila upoštevana prisotnost velikih količin stabilnega kalcija v betonu, kar bo vplivalo na imobilizacijo Ca-41 zaradi izmenjave s stabilnim kalcijem, kar pomeni, da so izračunane doze veliko precenjene. Doze, izračunane za to varianto scenarija, ni smiselno uporabiti v namene demonstracije skladnosti s predpisano omejitvijo saj je verjetnost pojava takega scenarija izredno nizka.

7.3.6.1.3.2 Uporaba vode iz vodnjaka za napajanje živine

V tej podvarianti scenarija so vse predpostavke enake kot pri nominalnem scenariju, razen da vodo iz vodnjaka uporabljajo ljudje za pitje, z njo pa se napaja tudi živina. To pomeni, da živina namesto vode iz reke pije vodo iz vodnjaka. V nadaljevanju so predstavljeni rezultati.



Slika 7-44: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za različno nominalnega scenarija, kjer je voda iz vodnjaka uporabljena tudi za napajanje živine. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev (označena kot limit v legendi)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	4.2E-05	1 874	1.2E-04	376 494
Ac-227	2.6E-07	10 000	7.4E-07	20 092
Ag-108m	2.3E-05	1 630	2.3E-05	1 630
Am-241	< 1E-10	6 579	< 1E-10	6 579
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	1.0E-07	10 000	4.3E-07	20 092
Ca-41	2.8E-05	3 275	2.8E-05	3 275
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57
Cd-113m	< 1E-10	305	< 1E-10	305

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cl-36	2.0E-06	5 722	2.0E-06	5 722
Cm-244	< 1E-10	351	< 1E-10	351
Co-60	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	5.7E-10	123 285
Cs-137	< 1E-10	933	< 1E-10	933
Eu-152	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	4.5E-07	2 154	4.5E-07	2 154
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Nb-94	1.9E-06	10 000	5.0E-06	17 475
Ni-59	4.4E-06	10 000	1.2E-05	70 548
Ni-63	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Np-237	< 1E-10	10 000	7.0E-09	70 548
Pa-231	1.5E-07	10 000	4.1E-07	20 092
Pb-210	2.8E-08	10 000	3.7E-05	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	20 092
Po-210	6.4E-08	10 000	8.6E-05	376 494
Pu-238	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417
Pu-239	1.9E-09	10 000	3.2E-07	40 370

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-240	< 1E-10	10 000	4.2E-10	26 561
Pu-241	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Ra-226	7.5E-10	10 000	1.2E-06	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	2.3E-08	572 237
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	3.3E-09	10 000	3.3E-09	10 000
Sm-151	< 1E-10	1 630	< 1E-10	1 630
Sr-90	< 1E-10	705	< 1E-10	705
Tc-99	2.4E-07	10 000	5.2E-07	17 475
Th-228	< 1E-10	10 000	2.5E-10	572 237
Th-229	< 1E-10	10 000	5.4E-10	215 443
Th-230	< 1E-10	10 000	3.1E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	7.9E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	9.2E-10	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	7.9E-08	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	1.9E-09	81 113
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	81 113
U-238	< 1E-10	10 000	2.2E-07	81 113

Tabela 7-46: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri nominalnem podscenariju Uporaba vode iz vodnjaka tudi za napajanje živine

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanj a izpostavljenost	Zaužitje je pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
skupna doza	4.2E-05	1 874	71%	0%	0%	0%	8%	20%	0%
Ac-227	2.6E-07	10 000	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Ag-108m	2.3E-05	1 630	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Am-241	1.4E-13	6 579	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ba-133	8.4E-21	305	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C-14	1.0E-07	10 000	7%	0%	0%	0%	41%	52%	0%
Ca-41	2.8E-05	3 275	75%	0%	0%	0%	6%	19%	0%
Cd-109	3.9E-81	57	0%	0%	0%	7%	0%	0%	93%
Cd-113m	4.7E-23	305	96%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
Cl-36	2.0E-06	5 722	70%	0%	0%	0%	8%	23%	0%
Cm-244	1.4E-41	351	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Co-60	9.0E-35	305	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Cs-134	7.2E-109	305	79%	0%	0%	0%	12%	9%	0%
Cs-135	3.8E-18	10 000	79%	0%	0%	0%	12%	9%	0%
Cs-137	4.9E-37	933	79%	0%	0%	0%	12%	9%	0%
Eu-152	3.5E-45	305	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Eu-154	1.4E-49	305	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Eu-155	2.1E-59	305	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Fe-55	4.1E-55	305	91%	0%	0%	0%	9%	0%	0%
H-3	3.5E-14	305	67%	0%	0%	0%	9%	24%	0%
I-129	4.5E-07	2 154	85%	0%	0%	0%	4%	11%	0%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanj a izpostavljenost	Zaužitje pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Na-22	1.9E-26	11	10%	0%	11%	16%	7%	19%	38%
Nb-93m	1.5E-34	305	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nb-94	1.9E-06	10 000	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ni-59	4.4E-06	10 000	85%	0%	0%	0%	13%	2%	0%
Ni-63	2.3E-13	1 630	85%	0%	0%	0%	13%	2%	0%
Np-237	4.0E-11	10 000	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Pa-231	1.5E-07	10 000	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Pb-210	2.8E-08	10 000	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pd-107	8.5E-13	10 000	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Po-210	6.4E-08	10 000	87%	0%	0%	0%	13%	0%	0%
Pu-238	1.3E-23	1 417	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pu-239	1.9E-09	10 000	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pu-240	6.4E-12	10 000	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pu-241	2.8E-31	305	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ra-226	7.5E-10	10 000	98%	0%	0%	0%	1%	1%	0%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanj a izpostavljenost	Zaužitje je pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
Ra-228	1.0E-22	10 000	98%	0%	0%	0%	1%	1%	0%
Sb-125	2.9E-36	76	12%	0%	35 %	30%	1%	0%	22%
Se-79	3.3E-09	10 000	80%	0%	0%	0%	12%	8%	0%
Sm-151	6.5E-27	1 630	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Sr-90	1.9E-16	705	96%	0%	0%	0%	1%	3%	0%
Tc-99	2.4E-07	10 000	68%	0%	0%	0%	10%	22%	0%
Th-228	1.1E-24	10 000	75%	0%	0%	0%	0%	24%	0%
Th-229	6.3E-16	10 000	75%	0%	0%	0%	0%	25%	0%
Th-230	4.0E-15	10 000	75%	0%	0%	0%	0%	24%	0%
Th-232	3.1E-24	10 000	75%	0%	0%	0%	0%	24%	0%
Tl-204	1.6E-25	16	1%	0%	0%	24%	6%	11%	58%
U-233	1.3E-14	10 000	95%	0%	0%	0%	0%	4%	0%
U-234	1.8E-12	10 000	95%	0%	0%	0%	0%	4%	0%
U-235	3.0E-13	10 000	95%	0%	0%	0%	0%	4%	0%
U-236	1.0E-16	10 000	95%	0%	0%	0%	0%	4%	0%

Radionuklid	Maksimalna doza Sv/leto	Čas let	Pitje vode	Inhalacija	Zunanj a izpostavljenost	Zaužitje je pridelkov	Zaužitje meso	Zaužitje mleka	Zaužitje rib (vodnih živali)
U-238	3.4E-11	10 000	95%	0%	0%	0%	0%	4%	0%

Tabela 7-47: Doprinos različnih poti izpostavljenosti k maksimalni dozi pri nominalnem podscenariju Uporaba vode iz vodnjaka tudi za napajanje živine

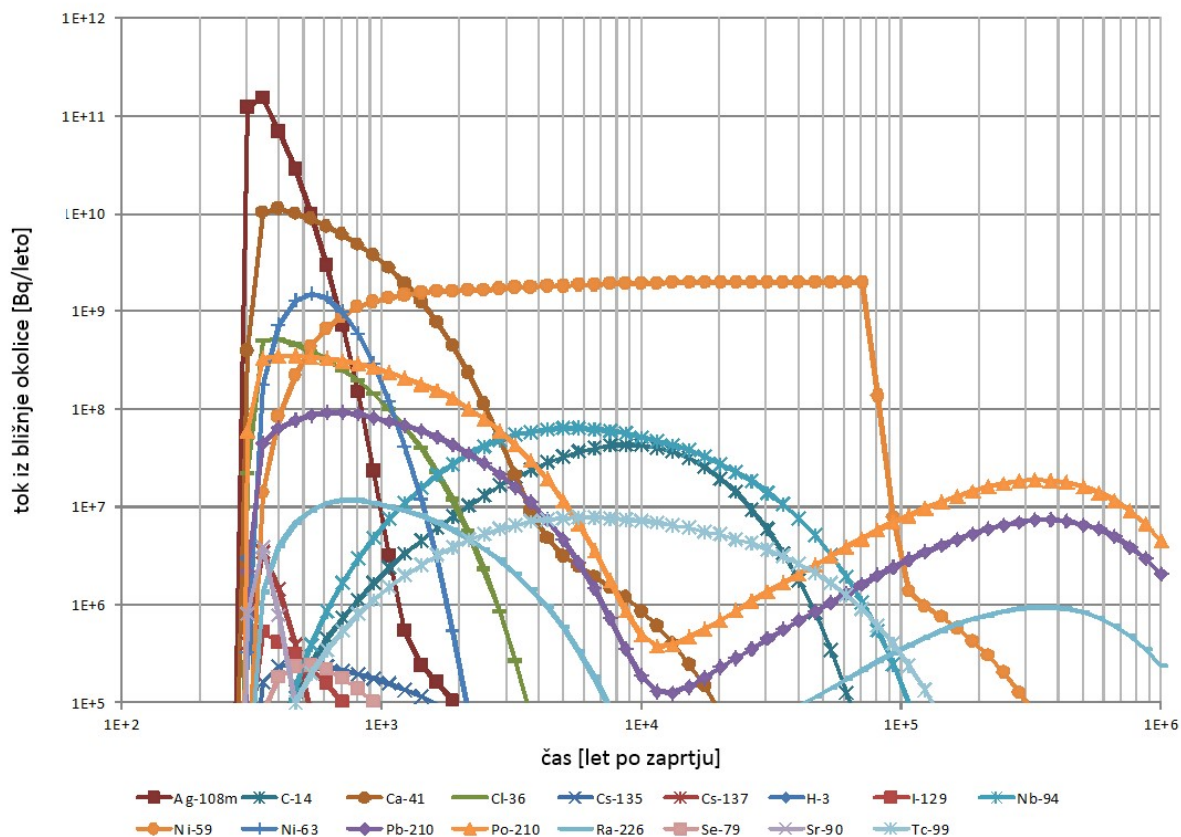
Skupna doza vseh radionuklidov je za celotno obdobje simulacije pod predpisano omejitvijo 0,3 mSv/leto.

7.3.6.2 Scenarij zgodnje porušitve inženirskih pregrad

Scenarij zgodnje porušitve inženirskih pregrad je ovrednoten enako kot nominalni scenarij, s to razliko, da posamezne (gradbene) komponente umetnih pregrad podležejo hitri degradaciji – razpadanju, glede na njihove predpisane in zahtevane lastnosti, takoj po zaključku institucionalne kontrole. Ta scenarij ne predstavlja samo napake oz. porušitve v betonih, temveč vključuje tudi pospešeno korozijo in druge degradacijske procese. Kot takega bi ga lahko poimenovali scenarij »najslabšega možnega razvoja«, pri katerem odpovejo vse varnostne funkcije za bližnjo okolico odlagališča, ki so povezane z zadrževanjem in zmanjševanjem potencialnih izpustov. Ta scenarij ni v direktni povezavi (ne odgovarja) z nobenim poznanim FEPom, ampak je vključen kot mejni primer. Kot takega bi ga lahko obravnavali tudi kot »analizo brez pregrad« in ne kot pravi scenarij.

Privzeto je, da se nek začetni dogodek lahko zgodi v času med 300 in 10.000 leti po zaprtju odlagališča. Zaradi uporabe konzervativnega pristopa je pri ovrednotenju scenarija privzeto, da pride do dogodka takoj po prenehanju institucionalnega nadzora, to je 300 let po zaprtju odlagališča. Ob času, ko se ta dogodek zgodi, se lastnosti inženirskih pregrad z veliko hitrostjo spremenijo iz začetnih v degradirane. Velika hitrost pomeni, da se 1 stopnja spremembe obnašanja pregrade zgodi v enem letu. Vse ostale lastnosti sistema so enake, kot pri nominalnem scenariju.

Rezultati izračunov so prikazani v nadaljevanju.



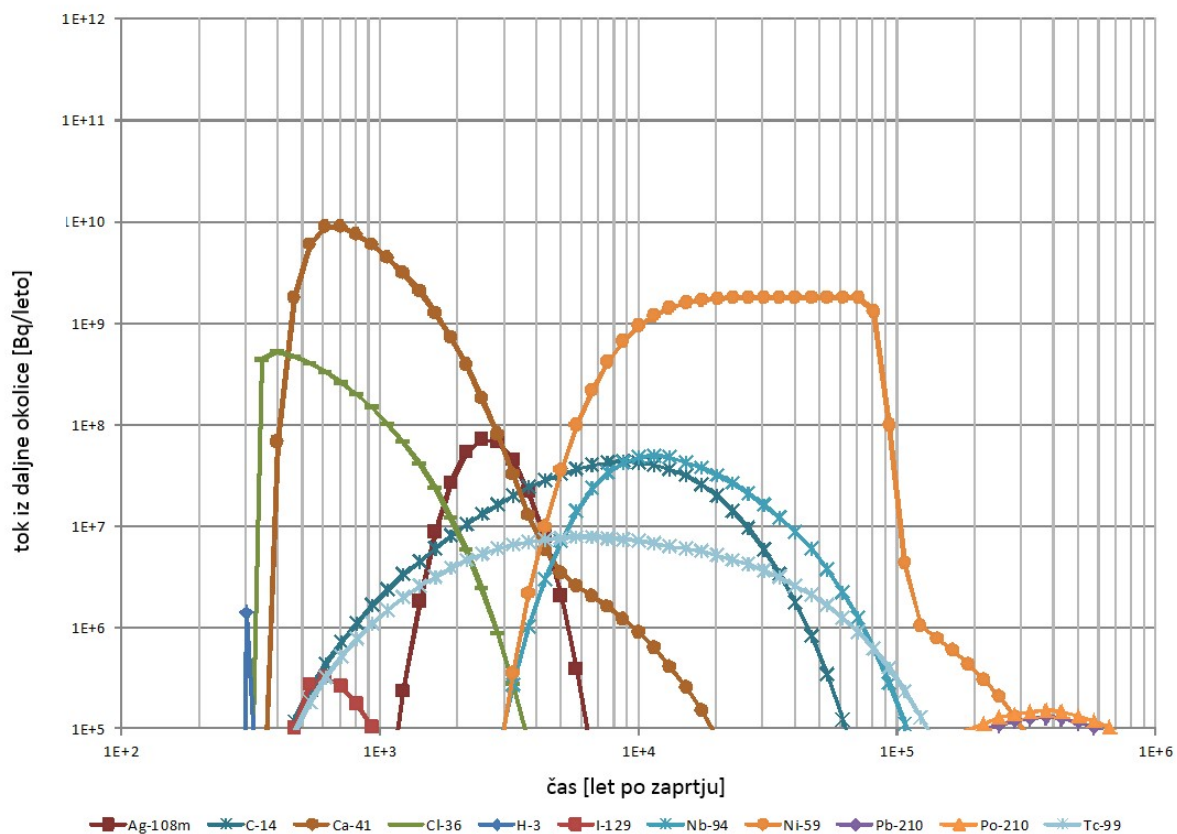
Slika 7-45: Izpusti radionuklidov iz bližnje okolice v daljno okolico odlagališča za scenarij hitre porušitve inženirskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Skupni izpust	1.6E+11	351	1.6E+11	351
Ac-227	1.0E+04	351	1.0E+04	351
Ag-108m	1.5E+11	351	1.5E+11	351
Am-241	3.4E+04	1 874	3.4E+04	1 874
Ba-133	2.1E+00	305	2.1E+00	305
C-14	4.3E+07	8 697	4.3E+07	8 697
Ca-41	1.1E+10	404	1.1E+10	404
Cd-109	9.7E-10	2	9.7E-10	2

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-113m	1.5E+01	351	1.5E+01	351
Cl-36	5.2E+08	404	5.2E+08	404
Cm-244	1.5E-04	351	1.5E-04	351
Co-60	4.6E-02	12	4.6E-02	12
Cs-134	1.1E-02	3	1.1E-02	3
Cs-135	2.5E+05	464	2.5E+05	464
Cs-137	3.4E+06	351	3.4E+06	351
Eu-152	2.8E-06	351	2.8E-06	351
Eu-154	2.9E-09	22	2.9E-09	22
Eu-155	4.4E-10	11	4.4E-10	11
Fe-55	6.2E+02	4	6.2E+02	4
H-3	2.9E+06	305	2.9E+06	305
I-129	5.2E+05	351	5.2E+05	351
Na-22	4.0E-08	5	4.0E-08	5
Nb-93m	8.3E-11	351	8.3E-11	351
Nb-94	6.4E+07	4 977	6.4E+07	4 977
Ni-59	1.9E+09	10 000	2.0E+09	70 548
Ni-63	1.5E+09	534	1.5E+09	534
Np-237	1.9E+02	10 000	5.7E+02	53 367
Pa-231	1.1E+04	351	1.1E+04	351
Pb-210	9.1E+07	705	9.1E+07	705
Pd-107	1.4E+03	4 977	1.4E+03	4 977
Po-210	3.5E+08	404	3.5E+08	404
Pu-238	3.7E-02	705	3.7E-02	705
Pu-239	1.2E+04	10 000	2.4E+04	26 561

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-240	8.5E+01	10 000	9.2E+01	13 219
Pu-241	5.7E-08	351	5.7E-08	351
Ra-226	1.1E+07	705	1.1E+07	705
Ra-228	5.9E+02	10 000	2.1E+04	327 455
Sb-125	6.0E-02	4	6.0E-02	4
Se-79	2.4E+05	534	2.4E+05	534
Sm-151	2.4E-01	705	2.4E-01	705
Sr-90	3.9E+06	351	3.9E+06	351
Tc-99	7.8E+06	5 722	7.8E+06	5 722
Th-228	9.9E-01	10 000	3.5E+01	327 455
Th-229	3.0E-01	10 000	3.7E+01	215 443
Th-230	4.4E+00	10 000	2.7E+03	376 494
Th-232	4.4E-01	10 000	3.5E+01	327 455
Tl-204	7.2E-08	8	7.2E-08	8
U-233	7.4E+00	10 000	2.2E+02	187 382
U-234	7.9E+02	10 000	1.9E+04	215 443
U-235	1.4E+02	10 000	5.2E+02	61 359
U-236	5.0E-02	10 000	2.9E-01	61 359
U-238	1.6E+04	10 000	6.1E+04	61 359

Tabela 7-48: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz silosa pri scenariju hitre porušitve inženirskih pregrad



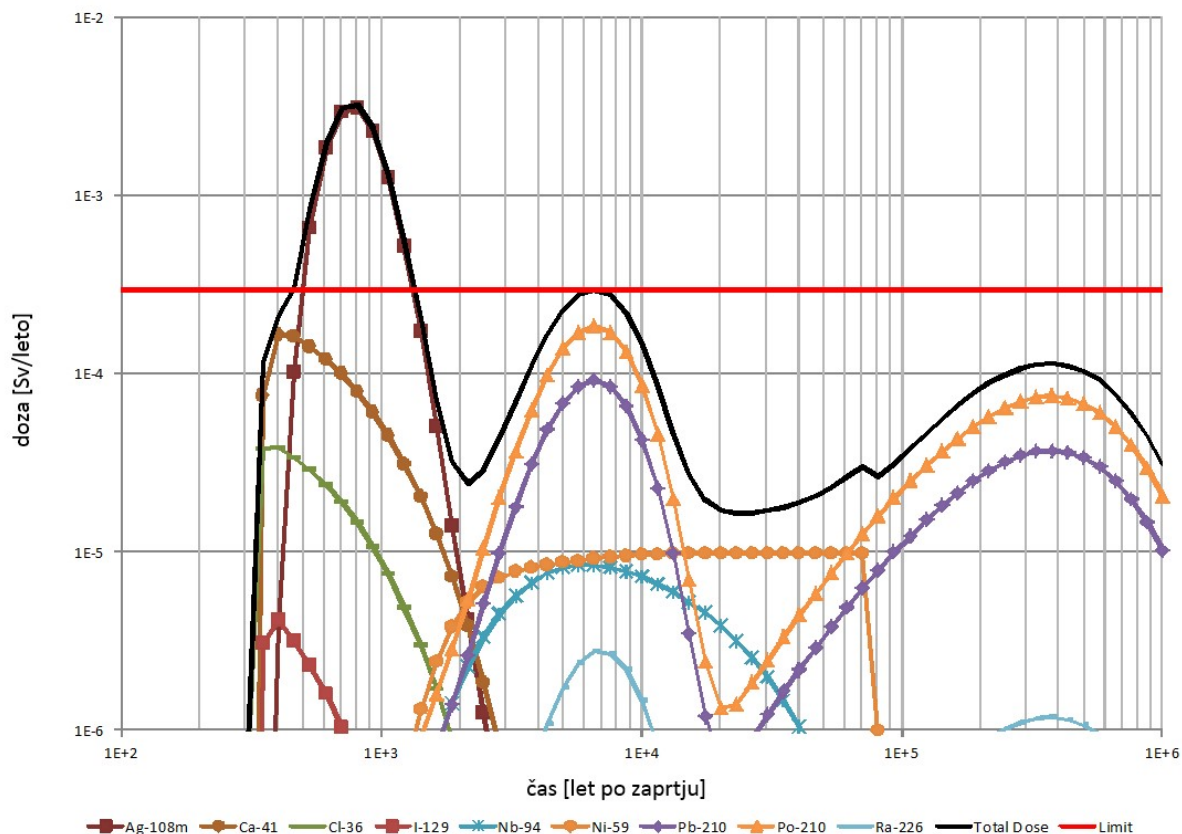
Slika 7-46: Izpusti radionuklidov iz geosfere (drenaža v reko) za scenarij hitre porušitve inženirskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Skupni izpust	9.1E+09	705	9.1E+09	705
Ac-227	6.9E-02	10 000	2.3E+03	81 113
Ag-108m	7.2E+07	2 477	7.2E+07	2 477
Am-241	2.7E-05	10 000	2.7E-05	10 000
Ba-133	1.5E-01	351	1.5E-01	351
C-14	4.3E+07	8 697	4.3E+07	8 697
Ca-41	8.9E+09	705	8.9E+09	705
Cd-109	2.5E-64	57	2.5E-64	57

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-113m	9.3E-25	811	9.3E-25	811
Cl-36	5.3E+08	404	5.3E+08	404
Cm-244	1.8E-72	1 233	1.8E-72	1 233
Co-60	2.8E-47	231	2.8E-47	231
Cs-134	3.9E-118	100	3.9E-118	100
Cs-135	1.3E-35	10 000	4.0E+02	869 749
Cs-137	9.9E-74	1 630	9.9E-74	1 630
Eu-152	1.9E-80	933	1.9E-80	933
Eu-154	1.5E-89	404	1.5E-89	404
Eu-155	2.6E-98	231	2.6E-98	231
Fe-55	1.6E-46	115	1.6E-46	115
H-3	1.4E+06	305	1.4E+06	305
I-129	3.3E+05	614	3.3E+05	614
Na-22	7.5E-09	11	7.5E-09	11
Nb-93m	2.8E-31	933	2.8E-31	933
Nb-94	4.8E+07	10 000	5.0E+07	11 498
Ni-59	9.4E+08	10 000	1.8E+09	70 548
Ni-63	1.9E-02	2 477	1.9E-02	2 477
Np-237	1.7E+02	10 000	5.7E+02	53 367
Pa-231	5.8E-02	10 000	1.9E+03	81 113
Pb-210	2.8E-03	10 000	1.3E+05	376 494
Pd-107	1.3E+03	10 000	1.3E+03	10 000
Po-210	3.3E-03	10 000	1.5E+05	376 494
Pu-238	1.5E-15	2 848	1.5E-15	2 848

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-239	2.6E+02	10 000	1.6E+04	40 370
Pu-240	1.8E+00	10 000	2.6E+01	23 101
Pu-241	1.2E-38	933	1.2E-38	933
Ra-226	9.1E-05	10 000	1.1E+04	376 494
Ra-228	6.9E-13	10 000	2.2E+02	1 000 000
Sb-125	6.2E-18	76	6.2E-18	76
Se-79	4.4E+04	4 329	4.4E+04	4 329
Sm-151	4.0E-18	3 275	4.0E-18	3 275
Sr-90	2.4E-15	1 233	2.4E-15	1 233
Tc-99	7.8E+06	5 722	7.8E+06	5 722
Th-228	5.4E-14	10 000	1.7E+01	1 000 000
Th-229	4.2E-04	10 000	8.8E+00	247 708
Th-230	7.9E-09	10 000	9.0E+02	376 494
Th-232	5.4E-14	10 000	1.7E+01	1 000 000
Tl-204	2.2E-08	14	2.2E-08	14
U-233	4.1E-02	10 000	1.8E+02	247 708
U-234	3.6E-05	10 000	2.2E+04	247 708
U-235	1.1E-04	10 000	5.0E+02	107 227
U-236	2.4E-05	10 000	2.8E-01	123 285
U-238	7.5E-04	10 000	5.9E+04	107 227

Tabela 7-49: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz modela daljne okolice pri scenariju hitre porušitve inženirskih pregrad



Slika 7-47: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za scenarij hitre porušitve inženirskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča). Za primerjavo je prikazana tudi omejitev 0,3 mSv/leto, ki je sicer omejitev za scenarij normalnega razvoja, v primeru scenarija spremenjenega razvoja pa velja, da do 10 mSv/leto - ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni (označena kot limit v legendi)

Radionuklid	Maksimalna doza dosežena pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Skupna doza	3.2E-03	811	3.2E-03	811
Ac-227	3.6E-07	10 000	3.8E-07	23 101
Ag-108m	3.1E-03	811	3.1E-03	811
Am-241	4.4E-09	3 765	4.4E-09	3 765
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	1.0E-07	8 697	1.0E-07	8 697
Ca-41	1.7E-04	404	1.7E-04	404

Radionuklid	Maksimalna doza dosežena pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57
Cd-113m	< 1E-10	464	< 1E-10	464
Cl-36	3.9E-05	404	3.9E-05	404
Cm-244	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Co-60	< 1E-10	404	< 1E-10	404
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	5.0E-10	123 285
Cs-137	< 1E-10	811	< 1E-10	811
Eu-152	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	1.1E-08	305	1.1E-08	305
I-129	4.2E-06	404	4.2E-06	404
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Nb-94	8.5E-06	5 722	8.5E-06	5 722
Ni-59	9.7E-06	10 000	9.9E-06	70 548
Ni-63	4.2E-08	1 072	4.2E-08	1 072
Np-237	1.7E-09	10 000	5.1E-09	53 367
Pa-231	2.0E-07	10 000	2.1E-07	23 101
Pb-210	9.2E-05	6 579	9.2E-05	6 579
Pd-107	< 1E-10	5 722	< 1E-10	5 722
Po-210	1.9E-04	6 579	1.9E-04	6 579

Radionuklid	Maksimalna doza dosežena pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-238	< 1E-10	1 233	< 1E-10	1 233
Pu-239	1.8E-07	10 000	4.6E-07	26 561
Pu-240	1.3E-09	10 000	1.6E-09	15 199
Pu-241	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Ra-226	2.8E-06	6 579	2.8E-06	6 579
Ra-228	< 1E-10	10 000	2.4E-08	497 702
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	3.4E-08	1 072	3.4E-08	1 072
Sm-151	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417
Sr-90	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Tc-99	4.0E-07	5 722	4.0E-07	5 722
Th-228	< 1E-10	10 000	2.0E-10	497 702
Th-229	< 1E-10	10 000	4.1E-10	215 443
Th-230	< 1E-10	10 000	2.4E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	6.3E-10	497 702
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	9.0E-10	215 443
U-234	8.0E-10	10 000	7.7E-08	215 443
U-235	1.4E-10	10 000	2.0E-09	70 548
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
U-238	1.5E-08	10 000	2.2E-07	61 359

Tabela 7-50: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri scenariju hitre porušitve inženirskih pregrad

Iz rezultatov lahko vidimo, da je maksimalna dosežena doza 3,2 mSv/leto, do katere pride 800 let po zaprtju odlagališča. Zaradi konsistentnosti z ostalimi slikami v tem poglavju osnutka varnostnega poročila je tudi na tej sliki prikazana meja 0,3 mSv/leto za scenarij normalnega razvoja odlagališča. Predstavljen scenarij je scenarij spremenjenega razvoja odlagališča, ki ga

ni potrebno primerjati s predpisano dozno omejitvijo, temveč, skladno z JV 5 [21], je potrebna optimizacija, če ocenjena doza spremenjenega razvoja odlagališča preseže 10mSv/leto. Izračunana doza je za scenarij zgodnje porušitve inženirskih pregrad pod 10 mSv/leto in nadaljnja optimizacija odlagališča ni potrebna.

7.3.6.3 Scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad

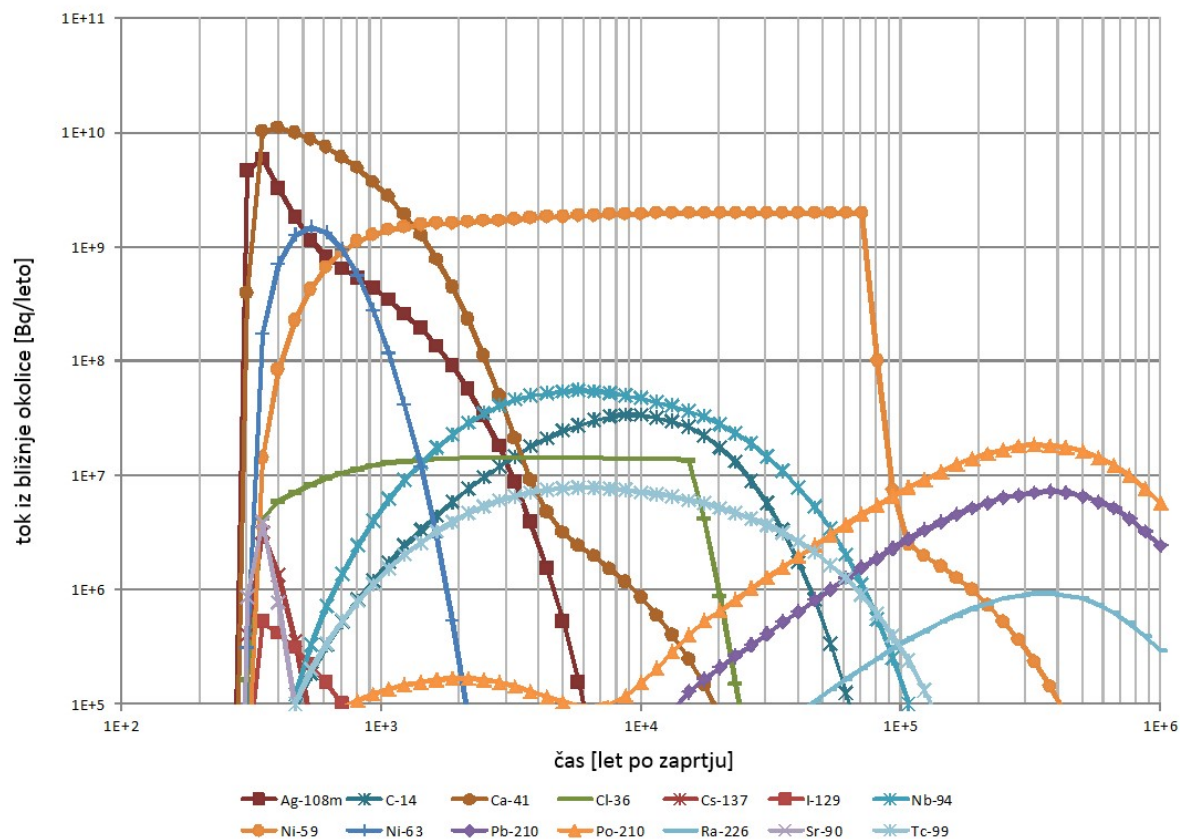
Scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad je komplementaren prejšnjemu scenariju, le da v tem primeru odpovejo le betonske pregrade. Kot tak predstavlja veliko število potencialnih FEPov, ki lahko vplivajo na sposobnost odlagališča, da izolira odpadke od okolice in jih zadrži v odlagališču. Ti FEPi vključujejo seizmične dogodke, ki s projektom niso predvideni (outside the design basis event), napake pri izdelavi ali gradnji, nepravilno obratovanje in vzdrževanje... Vsi ti FEPi so ovrednoteni v generičnem smislu, brez natančne specifikacije kaj natančno se zgodi. Pri takem pristopu se ne da izogniti konzervativnosti pri interpretaciji porušitve, ta bi bila manjša če bi za vsak posamezen FEP pripravili procesni model kako tak dogodek vpliva na objekt. Na primer nek večji seizmični dogodek bi lahko rezultiral v manjših in lokaliziranih razpokah, če bi bil sam proces nastanka teh razpok modeliran z procesnimi modeli mehanskih napetosti. Taka analiza bi se zanašala na veliko število predpostavk, zato je veliko bolj učinkovito, da je privzet bolj konzervativen pristop, ki ga je tudi lažje ubraniti.

V tem scenariju je predpostavljeno da betonske pregrade zelo hitro propadejo oz. se njihove lastnosti hitro spremenijo iz intaktnih v porušene, ki nič več ne predstavljajo hidrološke pregrade. Zelo malo verjetno je, da bi prišlo do takega dogodka, da bi se to v resnici v celoti zgodilo, zato je tudi ta scenarij potrebno razumeti kot mejno analizo bolj hitrega propada betonskih pregrad, kot pa je to predvideno v nominalnem scenariju.

Scenarij je ovrednoten enako kot nominalen scenarij, le da je za betonske pregrade predvideno da podležejo hitremu propadu – spremembi lastnosti, po koncu institucionalnega razvoja. Privzeto je, da se začetni dogodek zgodi v času med 300 in 10 000 let po zaprtju odlagališča.³ Zaradi uporabe konzervativnega pristopa je pri ovrednotenju scenarija privzeto, da, pride do dogodka takoj po prenehanju institucionalnega nadzora, to je 300 let po zaprtju odlagališča. Po tem, ko se zgodi začetni dogodek, se lastnosti betonski pregrad spremenijo iz začetnih v degradirane – porušene v enem letu. Vse ostale lastnosti sistema ostanejo, oz. se razvijajo enako kot pri nominalnem scenariju.

Rezultati analiz so predstavljeni v nadaljevanju.

³ Če bi se tak začetni dogodek zgodil v obdobju 300 let po zaprtju odlagališča, je to v obdobju institucionalne kontrole in bi bilo možno nastale napake na odlagalnem sistemu odpraviti.



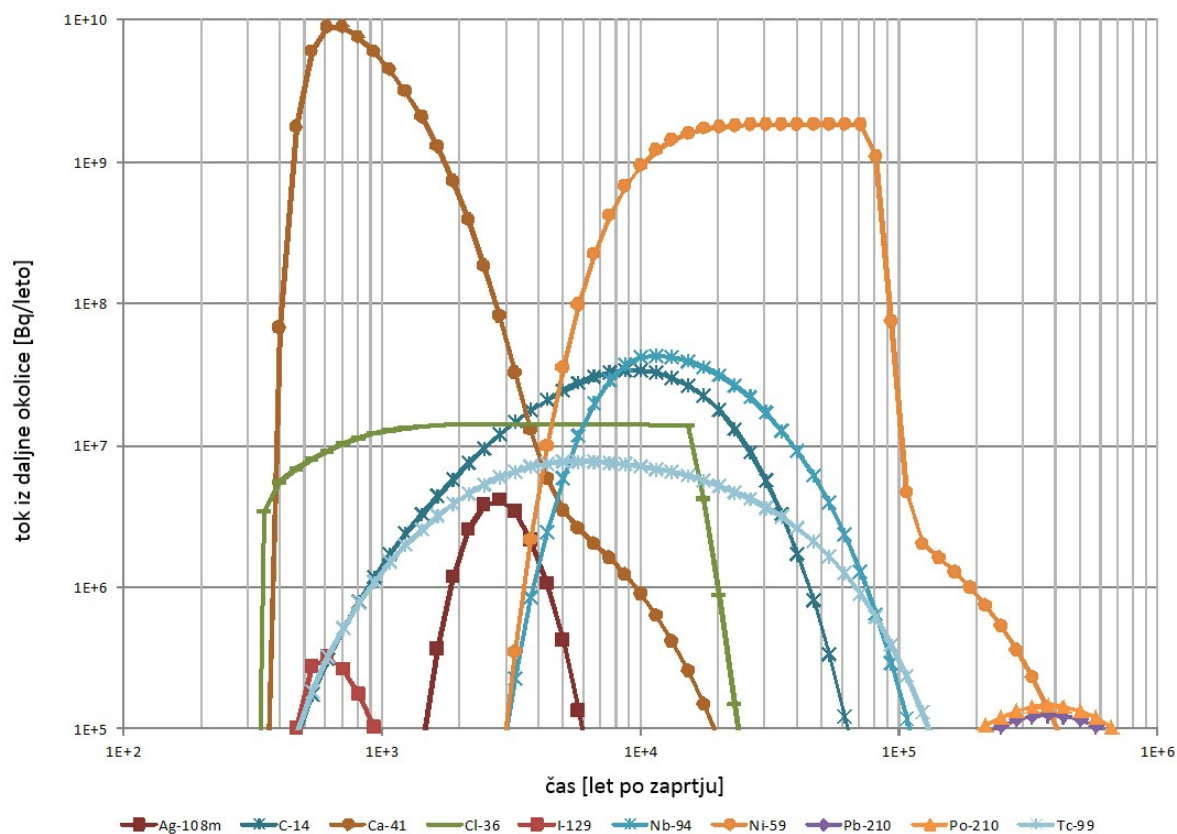
Slika 7-48: Izpusti radionuklidov iz bližnje okolice v daljno okolico odlagališča za scenarij hitre porušitve betonskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Total release	1.6E+10	351	1.6E+10	351
Ac-227	3.8E+03	10 000	5.6E+03	15 199
Ag-108m	5.8E+09	351	5.8E+09	351
Am-241	2.6E+03	2 154	2.6E+03	2 154
Ba-133	1.4E-02	305	1.4E-02	305
C-14	3.4E+07	10 000	3.4E+07	10 000
Ca-41	1.1E+10	404	1.1E+10	404
Cd-109	9.7E-10	2	9.7E-10	2
Cd-113m	5.7E-01	351	5.7E-01	351

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Cl-36	1.4E+07	2 848	1.4E+07	2 848
Cm-244	5.6E-06	351	5.6E-06	351
Co-60	4.6E-02	12	4.6E-02	12
Cs-134	1.1E-02	3	1.1E-02	3
Cs-135	2.1E+04	10 000	2.2E+04	15 199
Cs-137	3.2E+06	351	3.2E+06	351
Eu-152	1.0E-07	351	1.0E-07	351
Eu-154	2.9E-09	22	2.9E-09	22
Eu-155	4.4E-10	11	4.4E-10	11
Fe-55	6.2E+02	4	6.2E+02	4
H-3	1.7E+04	305	1.7E+04	305
I-129	5.2E+05	351	5.2E+05	351
Na-22	4.0E-08	5	4.0E-08	5
Nb-93m	3.0E-12	351	3.0E-12	351
Nb-94	5.5E+07	5 722	5.5E+07	5 722
Ni-59	1.9E+09	10 000	2.0E+09	61 359
Ni-63	1.5E+09	534	1.5E+09	534
Np-237	4.4E+01	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	4.4E+03	10 000	6.5E+03	15 199
Pb-210	4.9E+04	2 154	7.2E+06	376 494
Pd-107	6.4E+02	10 000	1.0E+03	17 475
Po-210	1.6E+05	1 874	1.8E+07	327 455
Pu-238	1.5E-03	705	1.5E-03	705
Pu-239	6.1E+03	10 000	1.9E+04	30 539
Pu-240	1.9E+01	10 000	3.7E+01	20 092

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-241	2.8E-08	351	2.8E-08	351
Ra-226	6.3E+03	2 154	9.2E+05	376 494
Ra-228	1.9E+02	10 000	2.0E+04	376 494
Sb-125	6.0E-02	4	6.0E-02	4
Se-79	1.1E+04	614	1.1E+04	614
Sm-151	9.9E-03	705	9.9E-03	705
Sr-90	3.8E+06	351	3.8E+06	351
Tc-99	7.8E+06	5 722	7.8E+06	5 722
Th-228	3.2E-01	10 000	3.3E+01	376 494
Th-229	6.0E-02	10 000	3.6E+01	215 443
Th-230	7.6E-01	10 000	2.6E+03	376 494
Th-232	9.5E-02	10 000	3.3E+01	376 494
Tl-204	7.2E-08	8	7.2E-08	8
U-233	1.8E+00	10 000	2.2E+02	215 443
U-234	1.8E+02	10 000	1.8E+04	247 708
U-235	3.1E+01	10 000	4.9E+02	70 548
U-236	1.2E-02	10 000	2.7E-01	70 548
U-238	3.6E+03	10 000	5.7E+04	70 548

Tabela 7-51: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz silosa pri scenariju hitre porušitve betonskih pregrad



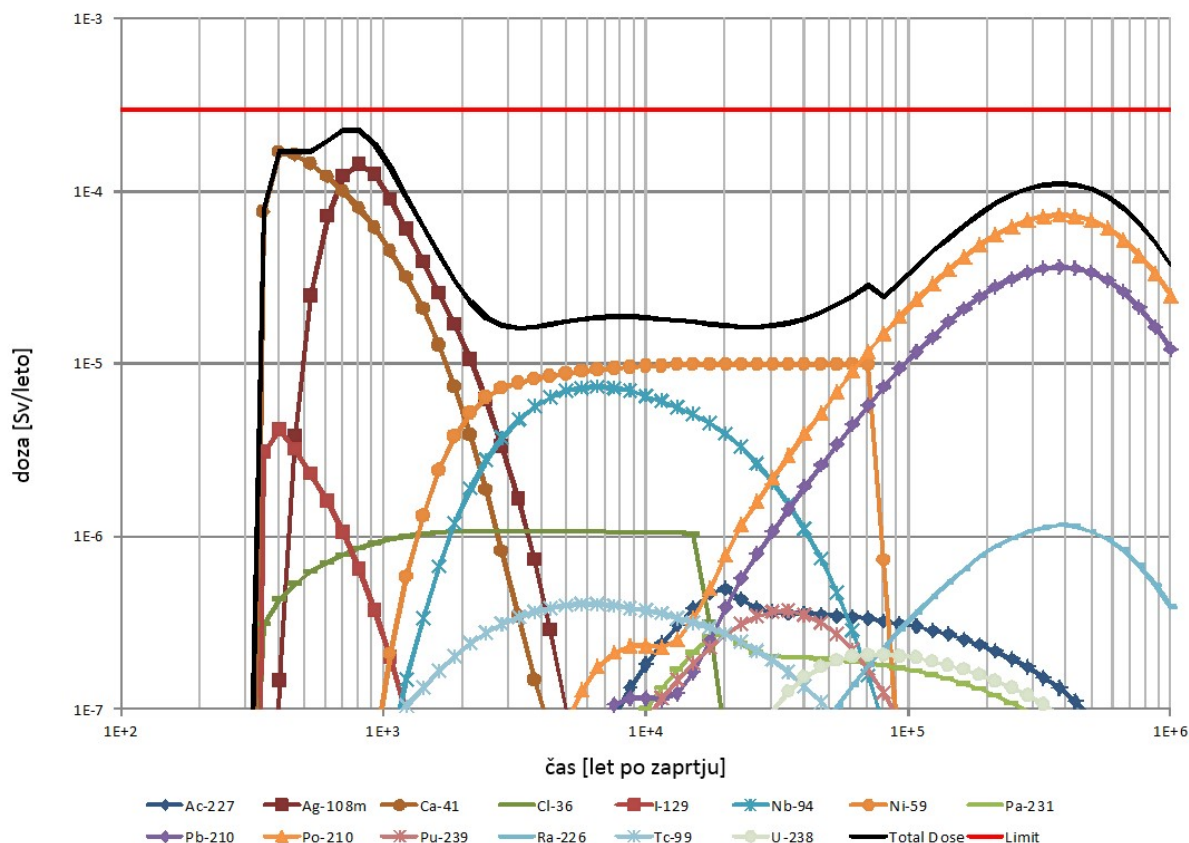
Slika 7-49: Izpusti radionuklidov iz geosfere za scenarij hitre porušitve betonskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča)

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Total release	8.9E+09	705	8.9E+09	705
Ac-227	4.5E-03	10 000	2.1E+03	93 260
Ag-108m	4.2E+06	2 848	4.2E+06	2 848
Am-241	2.3E-06	10 000	2.3E-06	10 000
Ba-133	1.3E-03	351	1.3E-03	351
C-14	3.4E+07	10 000	3.4E+07	10 000
Ca-41	8.9E+09	705	8.9E+09	705
Cd-109	2.5E-64	57	2.5E-64	57
Cd-113m	3.4E-26	811	3.4E-26	811

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Cl-36	1.4E+07	2 848	1.4E+07	2 848
Cm-244	6.7E-74	1 233	6.7E-74	1 233
Co-60	2.8E-47	231	2.8E-47	231
Cs-134	3.9E-118	100	3.9E-118	100
Cs-135	6.7E-37	10 000	3.8E+02	869 749
Cs-137	9.3E-74	1 630	9.3E-74	1 630
Eu-152	7.1E-82	933	7.1E-82	933
Eu-154	1.5E-89	404	1.5E-89	404
Eu-155	2.6E-98	231	2.6E-98	231
Fe-55	1.6E-46	115	1.6E-46	115
H-3	9.0E+03	305	9.0E+03	305
I-129	3.3E+05	614	3.3E+05	614
Na-22	7.5E-09	11	7.5E-09	11
Nb-93m	1.0E-32	933	1.0E-32	933
Nb-94	4.1E+07	10 000	4.3E+07	11 498
Ni-59	9.4E+08	10 000	1.8E+09	70 548
Ni-63	1.8E-02	2 477	1.8E-02	2 477
Np-237	3.9E+01	10 000	5.3E+02	70 548
Pa-231	3.8E-03	10 000	1.8E+03	93 260
Pb-210	1.1E-06	10 000	1.3E+05	376 494
Pd-107	3.5E+02	10 000	1.0E+03	23 101
Po-210	1.3E-06	10 000	1.5E+05	376 494
Pu-238	6.3E-17	2 848	6.3E-17	2 848
Pu-239	1.1E+02	10 000	1.3E+04	46 416
Pu-240	1.7E-01	10 000	1.1E+01	30 539

Radionuklid	Maksimum dosežen pred 10 000 leti (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimum (Bq/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-241	5.7E-39	933	5.7E-39	933
Ra-226	3.2E-08	10 000	1.1E+04	376 494
Ra-228	5.3E-14	10 000	2.0E+02	1 000 000
Sb-125	6.2E-18	76	6.2E-18	76
Se-79	9.2E+03	10 000	9.4E+03	15 199
Sm-151	1.7E-19	3 275	1.7E-19	3 275
Sr-90	2.4E-15	1 233	2.4E-15	1 233
Tc-99	7.8E+06	5 722	7.8E+06	5 722
Th-228	4.2E-15	10 000	1.6E+01	1 000 000
Th-229	5.8E-05	10 000	8.5E+00	247 708
Th-230	3.0E-10	10 000	8.7E+02	376 494
Th-232	4.2E-15	10 000	1.6E+01	1 000 000
Tl-204	2.2E-08	14	2.2E-08	14
U-233	6.7E-03	10 000	1.8E+02	247 708
U-234	1.4E-06	10 000	2.1E+04	247 708
U-235	4.3E-05	10 000	4.7E+02	123 285
U-236	2.0E-06	10 000	2.6E-01	123 285
U-238	2.5E-05	10 000	5.5E+04	123 285

Tabela 7-52: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za izpuste iz modela daljne okolice pri scenariju hitre porušitve betonskih pregrad



Slika 7-50: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za scenarij hitre porušitve betonskih pregrad. Privzeto je, da se porušitev zgodi takoj po koncu institucionalne kontrole (300 let po zaprtju odlagališča). Za primerjavo je prikazana tudi omejitev 0,3 mSv/leto (označena kot limit v legendi), ki je sicer omejitev za scenarij normalnega razvoja, v primeru scenarija spremenjenega razvoja pa velja, da do 10 mSv/leto - ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	2.3E-04	705	2.3E-04	705
Ac-227	1.8E-07	10 000	5.0E-07	20 092
Ag-108m	1.4E-04	811	1.4E-04	811
Am-241	3.6E-10	4 329	3.6E-10	4 329
Ba-133	< 1E-10	305	< 1E-10	305
C-14	8.0E-08	10 000	8.0E-08	10 000
Ca-41	1.7E-04	404	1.7E-04	404

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Cd-109	< 1E-10	57	< 1E-10	57
Cd-113m	< 1E-10	464	< 1E-10	464
Cl-36	1.1E-06	2 848	1.1E-06	2 848
Cm-244	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Co-60	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-134	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Cs-135	< 1E-10	10 000	4.6E-10	123 285
Cs-137	< 1E-10	811	< 1E-10	811
Eu-152	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Eu-154	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Eu-155	< 1E-10	305	< 1E-10	305
Fe-55	< 1E-10	305	< 1E-10	305
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	4.1E-06	404	4.1E-06	404
Na-22	< 1E-10	11	< 1E-10	11
Nb-93m	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Nb-94	7.3E-06	6 579	7.3E-06	6 579
Ni-59	9.7E-06	10 000	9.9E-06	70 548
Ni-63	4.2E-08	1 072	4.2E-08	1 072
Np-237	3.9E-10	10 000	4.7E-09	70 548
Pa-231	1.0E-07	10 000	2.8E-07	20 092
Pb-210	1.1E-07	8 697	3.6E-05	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	20 092
Po-210	2.3E-07	8 697	7.4E-05	376 494

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/year)	Čas pojavnosti (leto)
Pu-238	< 1E-10	1 233	< 1E-10	1 233
Pu-239	8.7E-08	10 000	3.7E-07	35 112
Pu-240	2.4E-10	10 000	6.2E-10	23 101
Pu-241	< 1E-10	534	< 1E-10	534
Ra-226	3.5E-09	10 000	1.2E-06	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	2.3E-08	572 237
Sb-125	< 1E-10	76	< 1E-10	76
Se-79	2.2E-09	10 000	2.2E-09	10 000
Sm-151	< 1E-10	1 417	< 1E-10	1 417
Sr-90	< 1E-10	614	< 1E-10	614
Tc-99	4.0E-07	5 722	4.0E-07	5 722
Th-228	< 1E-10	10 000	1.9E-10	572 237
Th-229	< 1E-10	10 000	4.0E-10	215 443
Th-230	< 1E-10	10 000	2.3E-08	432 876
Th-232	< 1E-10	10 000	5.9E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	16	< 1E-10	16
U-233	< 1E-10	10 000	8.7E-10	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	7.4E-08	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	1.8E-09	70 548
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
U-238	1.8E-09	10 000	2.1E-07	70 548

Tabela 7-53: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri scenariju hitre porušitve betonskih pregrad

Maksimalna izračunana doza pri scenariju hitre porušitve betonskih pregrad je 0,2 mSv/ leto in se zgodi 700 let po zaprtju odlagališča.

Izračuni nam tako kažejo, da tudi, če bi se zgodil nek dogodek, ki bi resno poškodoval betonske pregrade odlagališča, 300 let po njegovem zaprtju, so izračunane doze še vedno pod predpisanimi za scenarije normalnega razvoja odlagališča. Predstavljena analiza je predpostavila, da se začetni dogodek zgodi takoj po izteku institucionalne kontrole odlagališča. V okviru občutljivostnih analiz je obravnavana tudi občutljivost maksimalne izračunane doze na čas v katerem se zgodi začetni dogodek. Rezultati so prikazani v poglavju 7.3.7.4.3 tega osnVP.

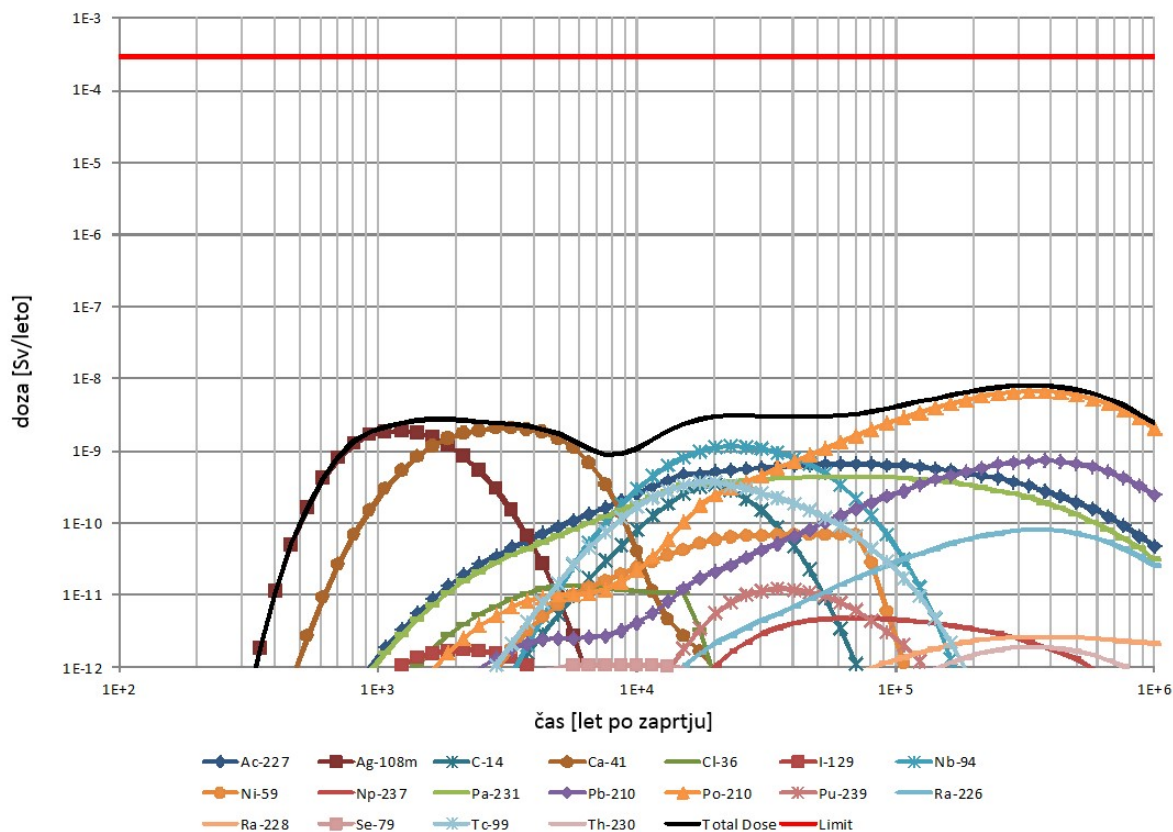
7.3.6.4 Scenarij meandriranja reke in površinske erozije

Naravni in antropogeni dogodki in procesi v prihodnosti lahko privedejo do spremembe toka reke Save, ki v najslabšem primeru lahko teče nad odlagališčem. Rezultat tega bi bila erozija kvartarnih plasti vodonosnika in sprememba hitrosti in smeri toka v samem vodonosniku. Geološko gledano se ne zdi kredibilno, da bi v 10 000 letih erozija dosegla odlagalno globino silosa, če ovrednotimo globino paleo kanalov reke Save [70]. Primarni učinek premika toka reke Save iz svoje sedanje struge bi bil sprememba hitrosti in smeri toka podzemne vode v bližini (in skozi) odlagališča.

Za scenarij meandriranja reke in površinske erozije so privzete naslednje predpostavke:

- Model geosfere – daljne okolice je odstranjen, tako, da potujejo potencialni izpusti iz odlagališča direktno v reko, za katero je predvideno da teče direktno nad odlagališčem;
- Izpusti v vodnjak niso predvideni, saj gredo direktno v reko
- Analiza modela biosfere je omejena z predpostavko izpustov le v reko
- Tok podzemen vode okoli in skozi odlagališče je predviden enak kot pri nominalnem scenariju.

Rezultati so predstavljeni v nadaljevanju.



Slika 7-51: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za scenarij meandriranja reke in površinske erozije. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev 0,3 mSv/leto (označena kot limit v legendi), ki je sicer omejitev za scenarij normalnega razvoja, v primeru scenarija spremenjenega razvoja pa velja, da do 10 mSv/leto - ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Total dose	2.7E-09	1 630	8.0E-09	327 455
Ac-227	2.5E-10	10 000	6.5E-10	70 548
Ag-108m	1.9E-09	1 233	1.9E-09	1 233
Am-241	< 1E-10	4 977	< 1E-10	4 977
Ba-133	< 1E-10	28	< 1E-10	28
C-14	< 1E-10	10 000	3.3E-10	20 092

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Ca-41	2.1E-09	3 275	2.1E-09	3 275
Cd-109	< 1E-10	2	< 1E-10	2
Cd-113m	< 1E-10	43	< 1E-10	43
Cl-36	< 1E-10	5 722	< 1E-10	5 722
Cm-244	< 1E-10	50	< 1E-10	50
Co-60	< 1E-10	16	< 1E-10	16
Cs-134	< 1E-10	3	< 1E-10	3
Cs-135	< 1E-10	10 000	< 1E-10	15 199
Cs-137	< 1E-10	464	< 1E-10	464
Eu-152	< 1E-10	50	< 1E-10	50
Eu-154	< 1E-10	28	< 1E-10	28
Eu-155	< 1E-10	16	< 1E-10	16
Fe-55	< 1E-10	4	< 1E-10	4
H-3	< 1E-10	305	< 1E-10	305
I-129	< 1E-10	2 154	< 1E-10	2 154
Na-22	< 1E-10	5	< 1E-10	5
Nb-93m	< 1E-10	25	< 1E-10	25
Nb-94	3.0E-10	10 000	1.1E-09	23 101
Ni-59	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
Ni-63	< 1E-10	1 233	< 1E-10	1 233
Np-237	< 1E-10	10 000	< 1E-10	70 548
Pa-231	1.8E-10	10 000	4.4E-10	61 359
Pb-210	< 1E-10	10 000	7.2E-10	376 494
Pd-107	< 1E-10	10 000	< 1E-10	20 092

Radionuklid	Maksimalna doza dosežen pred 10 000 leti (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)	Maksimalna doza (Sv/leto)	Čas pojavnosti (leto)
Po-210	< 1E-10	10 000	6.7E-09	327 455
Pu-238	< 1E-10	933	< 1E-10	933
Pu-239	< 1E-10	10 000	< 1E-10	35 112
Pu-240	< 1E-10	10 000	< 1E-10	23 101
Pu-241	< 1E-10	22	< 1E-10	22
Ra-226	< 1E-10	10 000	< 1E-10	376 494
Ra-228	< 1E-10	10 000	< 1E-10	376 494
Sb-125	< 1E-10	5	< 1E-10	5
Se-79	< 1E-10	8 697	< 1E-10	8 697
Sm-151	< 1E-10	705	< 1E-10	705
Sr-90	< 1E-10	464	< 1E-10	464
Tc-99	1.7E-10	10 000	3.6E-10	17 475
Th-228	< 1E-10	10 000	< 1E-10	432 876
Th-229	< 1E-10	10 000	< 1E-10	247 708
Th-230	< 1E-10	10 000	< 1E-10	327 455
Th-232	< 1E-10	10 000	< 1E-10	572 237
Tl-204	< 1E-10	9	< 1E-10	9
U-233	< 1E-10	10 000	< 1E-10	215 443
U-234	< 1E-10	10 000	< 1E-10	247 708
U-235	< 1E-10	10 000	< 1E-10	107 227
U-236	< 1E-10	10 000	< 1E-10	93 260
U-238	< 1E-10	10 000	< 1E-10	107 227

Tabela 7-54: Maksimumi in časi njihovih pojavnosti za letno dozo pri scenariju meandriranja reke in površinske erozije

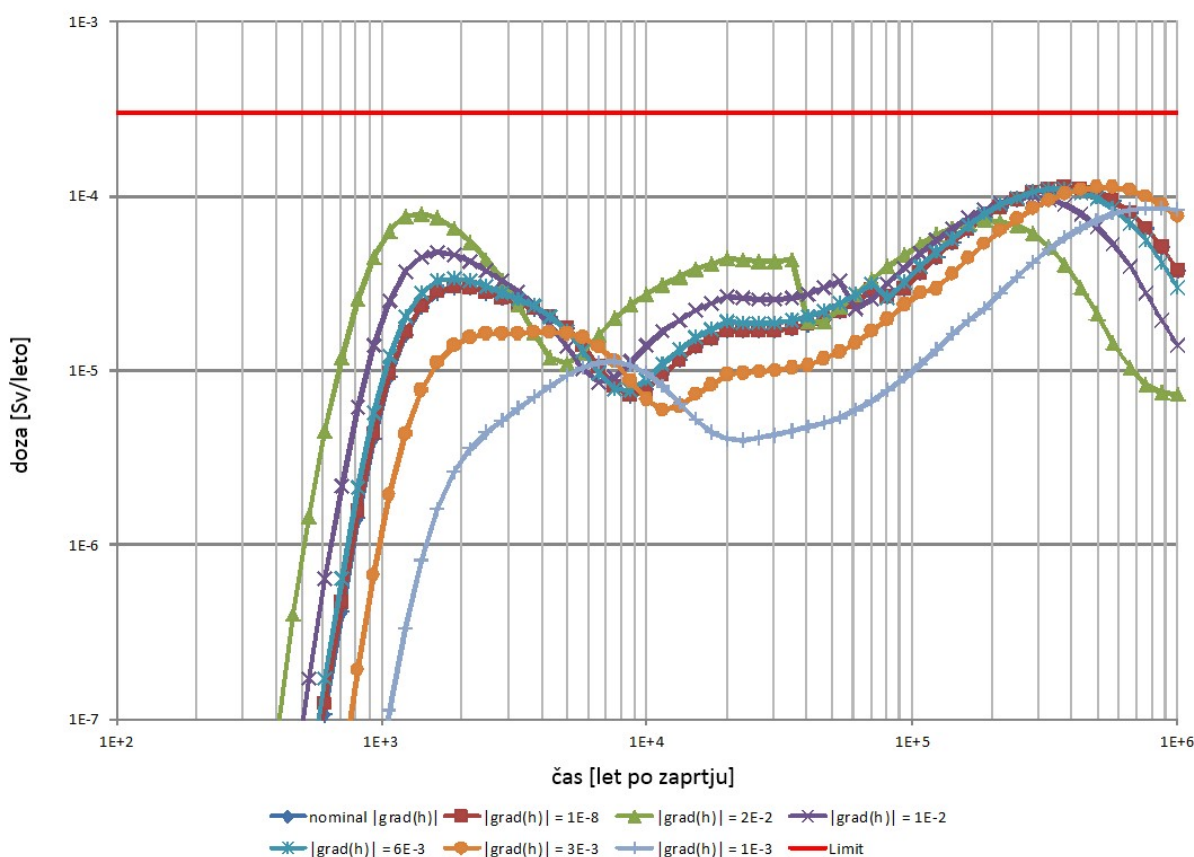
Maksimalna izračunana letna doza za scenarij meandriranja reke in površinske erozije je 3×10^{-6} mSv/leto, ki se zgodi 1 600 let po zaprtju odlagališča.

7.3.6.5 Scenarij spremembe hidroloških pogojev

Večje število FEPov lahko ima za svojo posledico regionalno spremembo hidroloških pogojev v okolici odlagališča. Ti FEPi vključujejo naravne in antropogene klimatske spremembe, izgradbo jezov ali drugih projektov na reki Savi in ostale indirektne človeške posege v vodonosnik. Rezultat vseh teh posegov je lahko sprememba smeri in hitrosti toka podzemne vode v bližnji okolici odlagališča in vodonosniku. Vse to lahko simuliramo s spremembo hidravličnega gradienta v bližnji okolici odlagališča. Doza je bila ocenjena ob predpostavki vertikalnega, navpičnega gradienta 2×10^{-2} (m/m), kar predstavlja 4 krat višji gradient, kot je uporabljen za nominalen scenarij.

Vse ostale predpostavke ostanejo enake, kot pri nominalnem scenariju.

Rezultati analiz so predstavljeni v nadaljevanju.



Slika 7-52: Letna doza na predstavnika posameznika iz najbolj izpostavljene skupine prebivalstva za scenarij spremembe hidroloških pogojev. Za primerjavo je prikazana tudi omejitev 0,3 mSv/leto, ki je sicer omejitev za scenarij normalnega razvoja, v primeru scenarija spremenjenega razvoja pa velja, da do 10 mSv/leto - ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni (označena kot limit v legendi)

Najvišja izračunana letna doza pri scenariju spremembe hidroloških pogojev je 0,08 mSv/leto in se zgodi približno 1 400 let po zaprtju odlagališča.

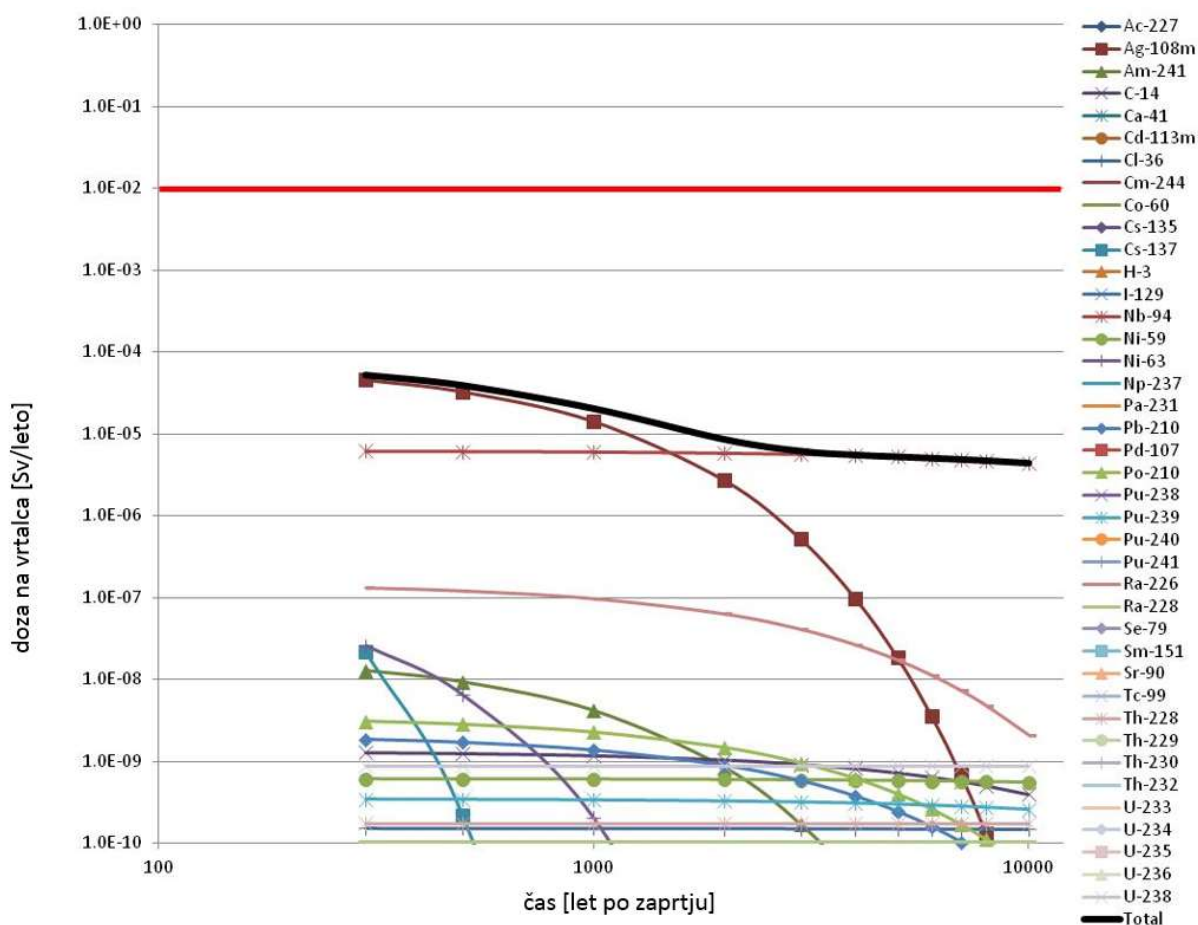
7.3.6.6 Scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče

Kot je predstavljeno že v poglavju 7.3.2. tega osnVP je verjetnost za scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče izjemno majhna, predvsem zaradi odlagalnega koncepta, zaradi

katerega so odpadki odloženi pod nivo podtalnice, ki bi lahko bila alternativni vir pitne vode in minimalne motivacije za globlje vrtanje na tem področju. Izračuni doz povezanih z scenarijem nemarnega vdora vključujejo oceno doze na tistega, ki sam vdor izvede in na osebo, ki se kmalu za tem preseli na to območje. Podrobneje je model opisan v poročilu varnostnih analiz [72] in povzet v poglavju 7.3.5.6 tega osnVP.

Predpostavljeno je bilo, da pride do nenamernega vdora zaradi vrtanja skozi odlagališče in pri tem do iznosa odpadkov na površino, zaradi česar pride do izpostavljenosti sevanju. pri tem je privzeta konzervativna predpostavka, da lahko z vrtalnim dletom prevrtajo beton in kovinske materiale (npr. reaktorska posoda).

Ocenjena doza na tistega, ki vdor izvede je predstavljena na naslednji sliki (Slika 7-53). Do vdora lahko pride 300 let po zaprtju odlagališča, saj je za obdobje 300 let po zaprtju predviden institucionalni nadzor, ko do takega vdora ne more priti. Ocenjene doze zaradi vdora so relativno nizke, zaradi kratkega časa izpostavljenosti in relativno majhne izkopane aktivnosti odpadkov. Maksimum je dosežen tako po 300 letih po zaprtju in znaša $5 \cdot 10^{-5}$ Sv/leto, največ pa k dozi doprineseta Ag – 108m in Nb – 94. Doprinos Ag – 108m s časom pada zaradi razpada, medtem ko je Nb – 94 dolgoživ radionuklid in je njegov doprinos k dozi v prvih 10 000 letih skoraj konstanten. Z rdečo črto je označene omejitve 10 mSv/leto (merila za ukrepanje), skladno z slovensko zakonodajo [21].

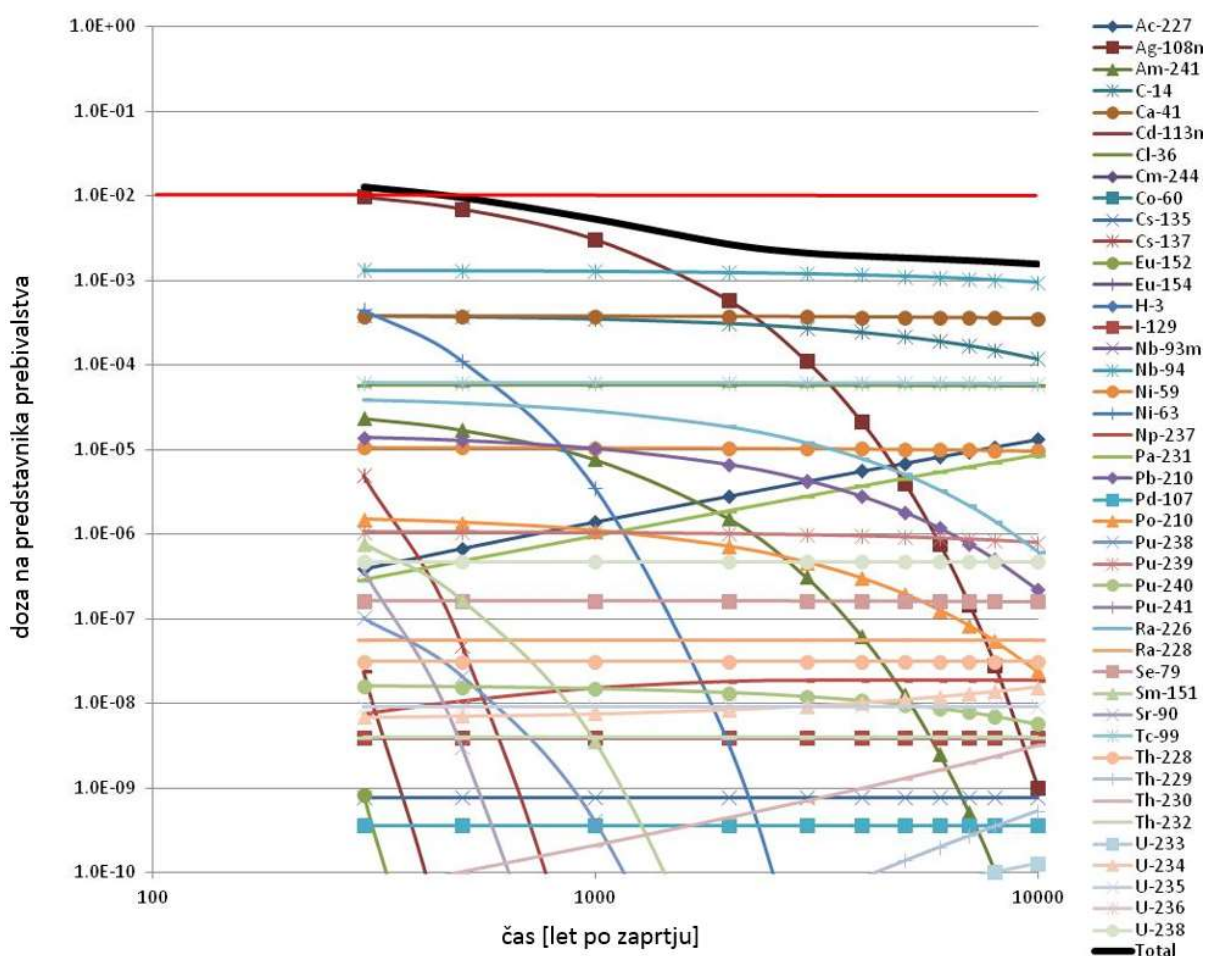


Slika 7-53: ocenjena doza na vrtalca pri scenariju nenamernega vdora človeka v odlagališče

Ocenjena doza pri scenariju nenamernega vdora človeka v odlagališče na predstavnika prebivalstva, ki se po vdoru naselijo na območju odlagališča je predstavljena na naslednji sliki

(Slika 7-54). Z rdečo črto je predstavljeno merilo za ukrepanje 10 mSv/leto [21]. Maksimum je dosežen takoj prvo leto po prenehanju institucionalnega nadzora, ko se scenarij lahko zgodi. Ta znaša malo več kot 10 mSv/leto in največ k dozi doprinese Ag-108m. 500 let po zaprtju odlagališča doza pade pod 10 mSv/leto, ker Ag – 108m razpade. 1000 let po zaprtju pa je ocenjena doza reda velikosti 1 – 2 mSv/leto.

Kot je omenjeno že zgoraj sta pri izračunu upoštevana dva osnova vira konzervativizma. Prvi je, da je verjetnost takega dogodka izredno majhna, drugi pa, da je zmožno z vrtno opremo za geotehnično vrtnje nemoten vrtati skozi beton in kovinske materiale (navadno so kovinski materiali na tako vrtnje odporni). Pri tem je potrebno poudariti, da sta oba radionuklida, ki največ prispevata k ocenjeni dozi produkta aktivacije in se nahajata v aktiviranih kovinskih materialih. Na podlagi teh dejstev varnostne analize ocenjujejo, da lahko ocenjene doze za scenarij nenamernega vdora človeka v odlagališče smatramo kot dovolj nizke, da dodatni ukrepi za optimizacijo odlagališča niso potrebni.



Slika 7-54: Doza na predstavnika prebivalstva, ki se po scenariju nenamernega vdora človeka naseli na območju vdora

7.3.7 REZULTATI VARNOSTNIH ANALIZ PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA – VERJETNOSTNI PRERAČUNI IN ANALIZA OBČUTLJIVOSTI

Verjetnostni izračuni v okviru varnostnih analiz so bili izvedeni s pomočjo programskega orodja ECOLEGO [89] in uporabo metode Latin Hypercube Sampling [90], ki jo programsko orodje podpira. Verjetnostni izračuni v okviru varnostnih analiz so bili izvedeni s pomočjo programskega orodja ECOLEGO [89] in uporabo metode Latin Hypercube Sampling [90], ki jo programsko orodje podpira. Osnovni namen uporabe verjetnostnih računov je bil ovrednotiti vpliv nezanesljivosti posameznih parametrov na izračunane končne doze. Deterministični izračuni za scenarije opisane v poglavju 7.3.6 tega OsnVP predstavljajo nabor možnih dogodkov za sistem odlagališča v prihodnosti in vključujejo najboljšo razpoložljivo strokovno in inženirsko presojo FEP ov, ki jim je sistem odlagališča lahko podvržen. Med tem, ko verjetnostni preračuni predstavljajo orodje za ovrednotenje nezanesljivosti parametrov za izbran scenarij. Tak pristop zagotavlja dopolnilno informacijo o nezanesljivostih v okviru varnostne ocene, kot jo predvideva Assessment context poročilo [48].

7.3.7.1 Nominalni scenarij – verjetnostni izračuni

Nominalni scenarij (opisan v poglavju 7.3.6.1 tega osnVP) predstavlja konzervativno osnovo na kateri slonijo probabilistične analize. V okviru teh je bilo izvedenih 1000 izračunov z uporabo metode Latin Hypercube Sampling. Pri tem je bil upoštevan 95 in 5 odstotni interval zaupanja (95 percentil in 5 percentil). V izračunih so bile uporabljene funkcije gostote verjetnosti (probability density function – PDF) za naslednje parametre:

- korozijski časi za nerjavno in ogljikovo jeklo,
- čas razpada betona,
- Darcy jeva hitrost v modelu širše okolice odlagališča,
- debelina nasičene cone aluvialnega vodonosnika,
- dolžina poti toka od odlagališča do reke,
- pretok reke Save,
- razmerja koncentracij,
- sorpcijski koeficienti.

Parametri so bili izbrani na podlagi dobre prakse in izkušenj pripravljavcev varnostnih analiz ter na podlagi njihove ocene kateri parametri najbolj vplivajo na spremenljivost končnega rezultata. Vrednosti za posamezne parametre, ki so bile upoštevane v analizah in njihove PDF funkcije so podrobneje predstavljene v poročilu o parametrih [81].

Doze izračunane v okviru skupine verjetnostnih izračunov so predstavljene na sliki Slika 7-55, slika Slika 7-56 pa predstavlja doprinos posameznega parametra k spremembi končne izračunane doze. Doprinosi so prikazani kot absolutni prispevek k spremembi končnega rezultata in ne kot občutljivost izračunane doze na spremembo posameznega parametra. Prikazani so parametri, ki vplivajo na ključne radionuklide v analizi in imajo večjo nezanesljivost.

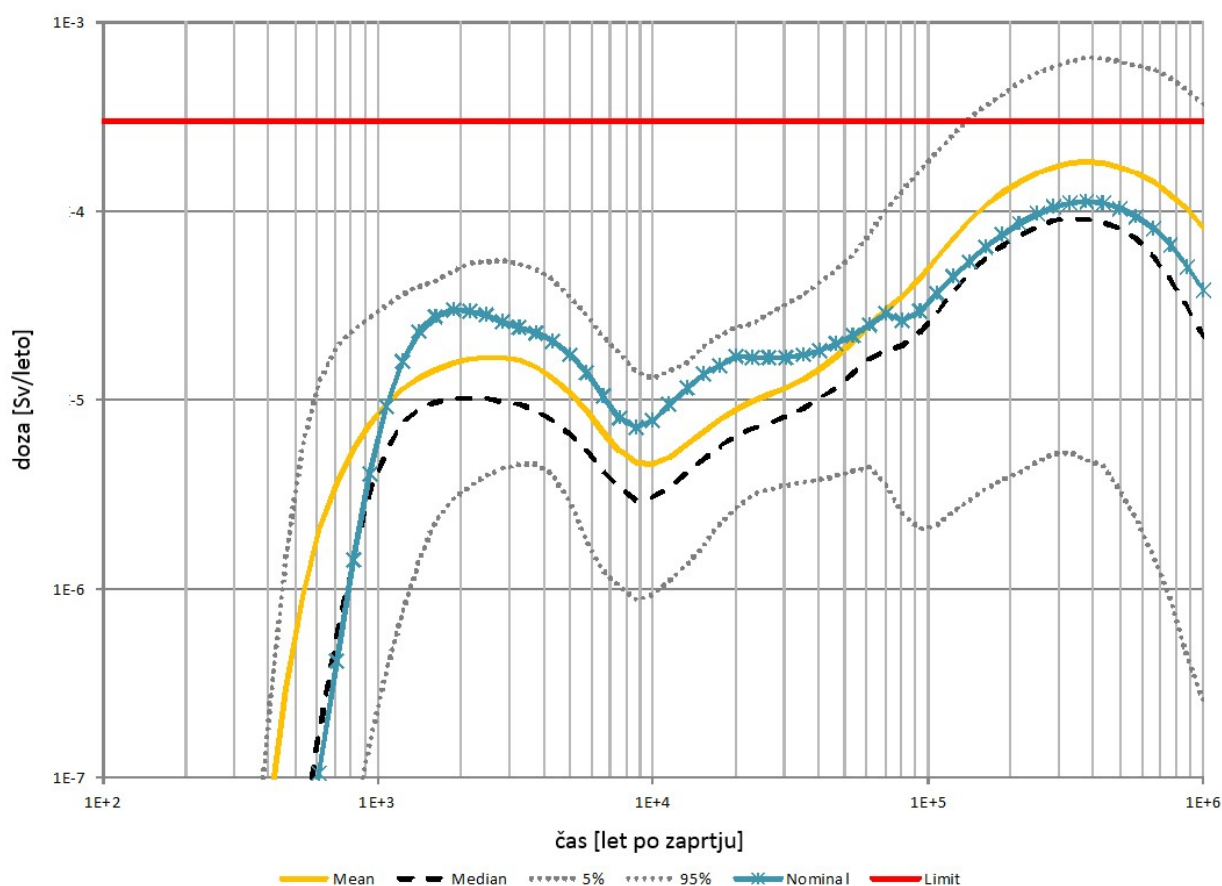
Maksimalne ocenjene doze tudi pri 95 odstotnem intervalu zaupanja ne presegajo omejitve 0,3 mSv/leto v prvih 10 000 letih po zaprtju odlagališča. Maksimum v tem času je dosežen približno 3 000 let po zaprtju in znaša 0,05 mSv/leto. V prvih 10 000 letih po zaprtju so najvišje ocenjene doze v času od 1 000 do 5 000 let po zaprtju in najbolj občutljiv parameter je Darcy jeva hitrost v modelu daljne okolice odlagališča, to pomeni, da ta parameter največ doprinese k spremembi končnega rezultata.

Do tega prvega maksimuma (0,05 mSv/leto) pride predvsem zaradi doprinosa Ca – 41 in Ag - 108m. Oba radionuklida sta bila v izračunih upoštevana zelo konzervativno, predvsem v smislu

njunega geokemičnega obnašanja. Pri ovrednotenju Ca - 41 ni bila upoštevana topnost ali izotopska razredčitev kljub velikim količinam stabilnega kalcija v betonu inženirskih pregrad (ni bilo upoštevano izluževanje stabilnega kalcija in zamenjava z Ca - 41). Najpomembnejši – najvplivnejši parameter v prvem obdobju je Darcy jeva hitrost v modelu daljne okolice odlagališča, kasneje pa postane najvplivnejši parameter K_d – koeficient sorbcije, v modelu bližnje okolice. Do razlike pride zaradi tega, ker sta v prvem obdobju najbolj vplivna radionuklida Ca - 41 in Ag - 108m, ki imata majhen razpon v vrednostih K_d , medtem, ko sta za daljše obdobje najbolj vplivna radionuklida Ni - 59 in Ra - 226 s svojimi potomci, ki imajo večje nezanesljivosti pri določitvi vrednosti K_d . Ta efekt je razviden tudi iz področja nezanesljivosti (Slika 7-55), to je razlike med 95 percentilom in 5 percentilom, ki znaša v zgodnjem času 1 magnitudo v kasnejšem pa 3 magnitudo.

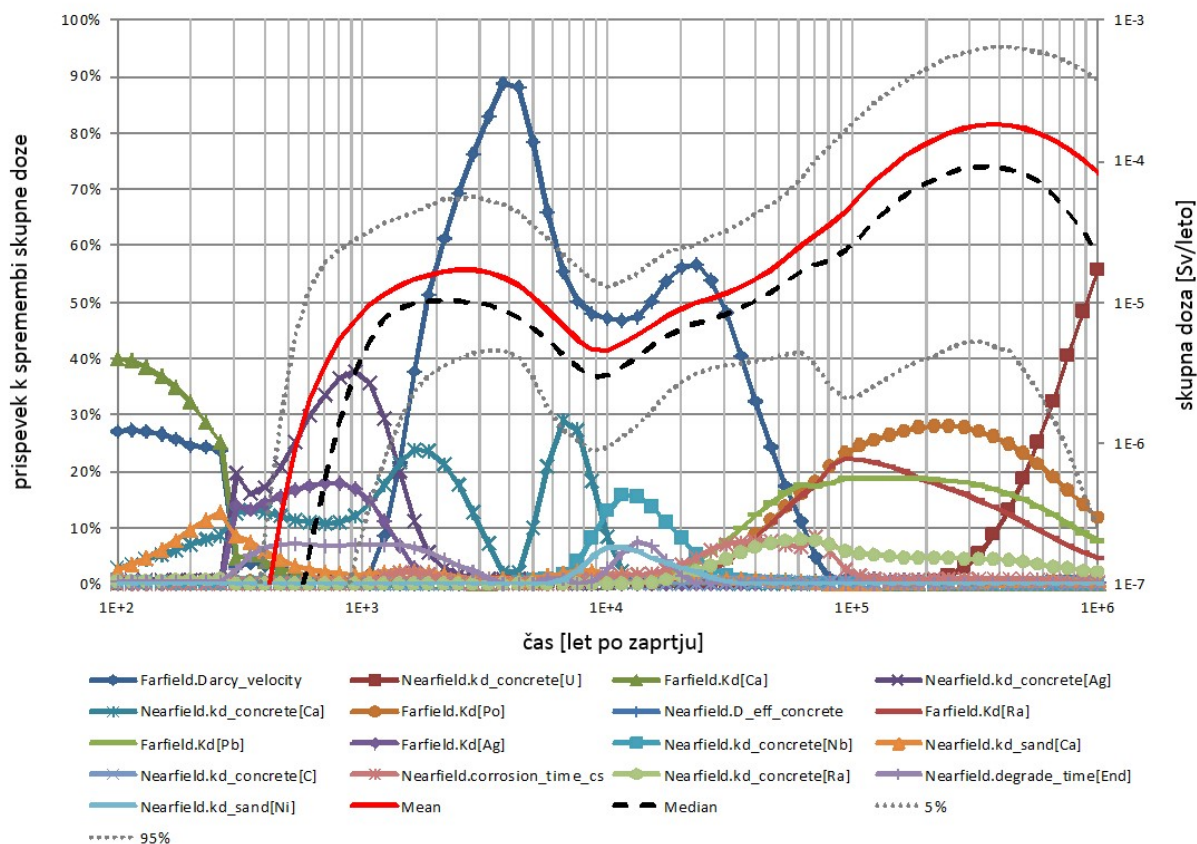
Negotovost posameznih parametrov v daljšem obdobju po zaprtju odlagališča se odraža v razpršenosti rezultatov (doz). Pri 95 percentilu ta celo preseže omejitev 0,3 mSv in doseže vrednost 0,6 mSv, kar je rezultat velike konzervativnosti pri uporabi parametrov za izračun 95 percentila.

Na sliki (Slika 7-55) je prikazan tudi rezultat determinističnih izračunov. Ta je bil izveden z zmerno – ne pretirano konzervativnostjo, kar je razvidno iz rezultatov, prikazanih v primerjavi z verjetnostnimi izračuni.



Slika 7-55: Doze na predstavnika kritične skupine prebivalstva ocenjene z verjetnostnimi analizami za nominalen scenarij razvoja dogodkov. Za primerjavo so prikazani tudi rezultati izračunani z

determinističnimi ocenami (na sliki označeni kot nominalni). Meja (limit) je na grafu prikazana z omejitvijo 0,3 mSv/leto.



Slika 7-56: Prispevek posameznih parametrov k spremembi skupne doze zaradi upoštevanja njihove nezanesljivosti, pridobljene iz verjetnostnih izračunov nominalnega scenarija.

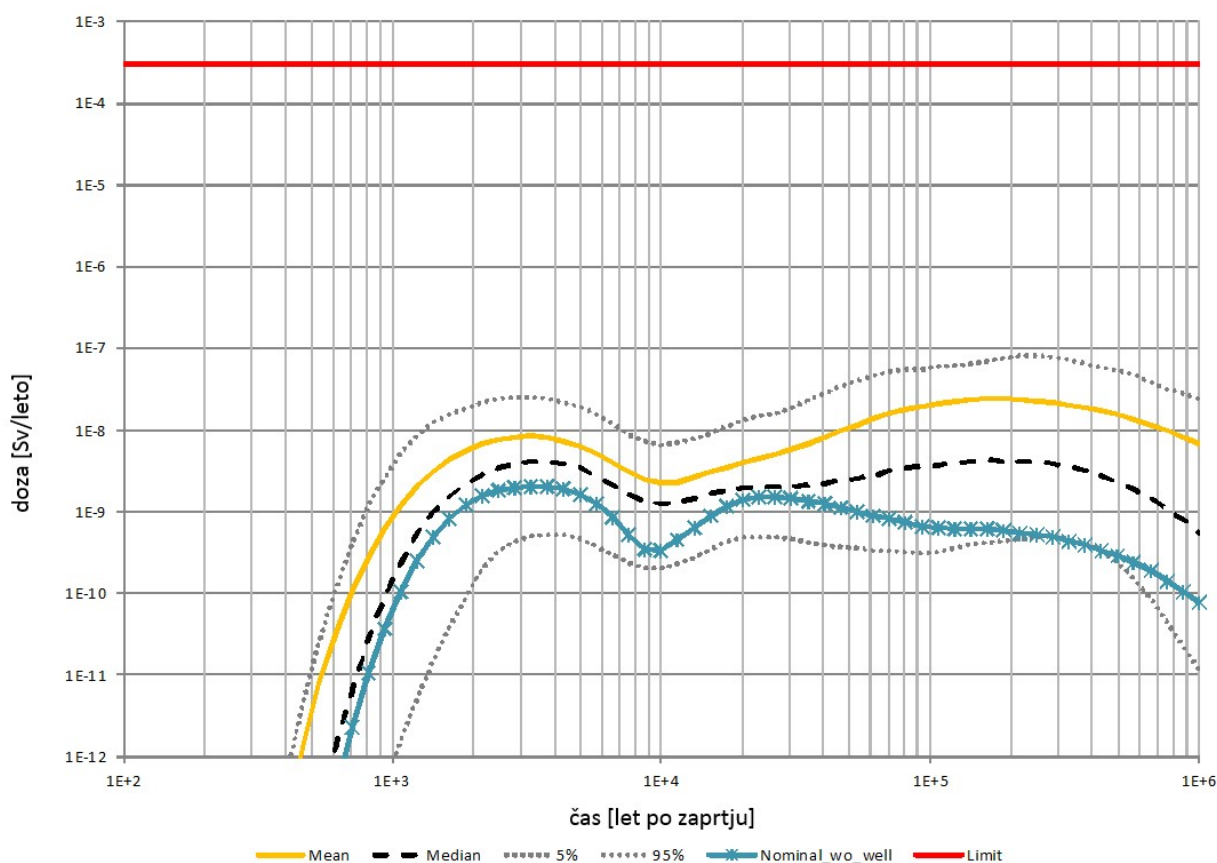
7.3.7.1.1 Različica nominalnega scenarija brez vodnjaka

Podobno kot pri nominalnem scenariju razvoja dogodkov so bile v izračunih uporabljene funkcije gostote verjetnosti za naslednje parametre:

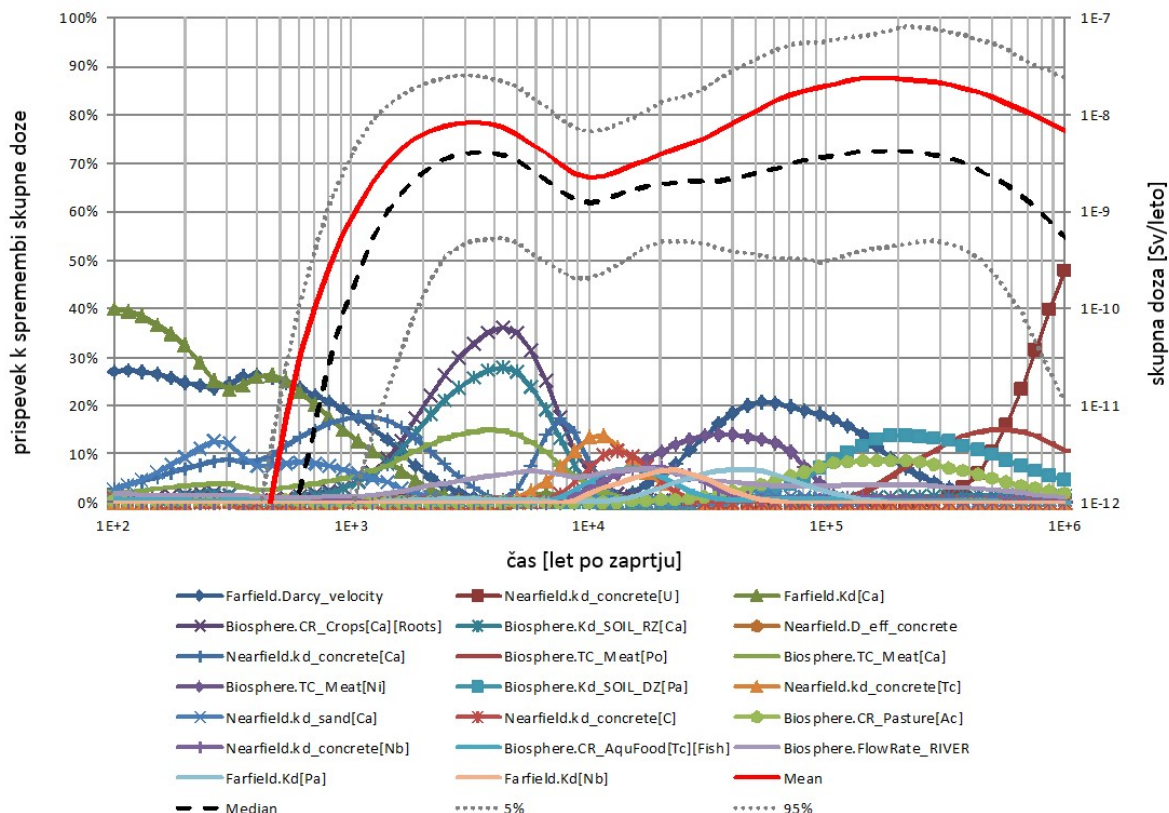
- korozijski časi za nerjavno in ogljikovo jeklo,
- čas razpada betona,
- Darcyjeva hitrost v modelu širše okolice odlagališča,
- debelina nasičene cone aluvialnega vodonosnika,
- dolžina poti toka od odlagališča do reke,
- pretok reke Save,
- razmerja koncentracij,
- sorpcijski koeficienti.

Skupina izračunanih rezultatov v okviru verjetnostnih simulacij je prikazana na sliki - Slika 7-57, občutljivost končnih rezultatov na spremembo posameznih parametrov pa je prikazan na sliki - Slika 7-58. Kot je predstavljeno že v poglavju 7.3.6 tega osnVP so ključni radionuklidi tudi pri tem scenariju isti kot pri nominalnem scenariju, vendar je končna ocenjena doza veliko nižja. Spremenili pa so se ključni parametri, ki najbolj vplivajo na končno oceno doze. Tok v modelu

daljne okolice nima več takega vpliva v prvem obdobju. Namesto njenega so najbolj vplivni parametri v modelu biosfere, predvsem parametri, ki določajo poti zaužitja radionuklidov s hrano. V izračunanem scenariju tudi maksimalna doza pri 95 percentilu ne preseže meje 0,3 mSv/leto za celotno obdobje simulacije. Maksimum doseže približno 3 000 let po zaprtju odlagališča in ta znaša 3×10^{-5} mSv/leto. V prvem obdobju je najbolj vpliven parameter, ki vpliva na končni rezultat, razmerje koncentracije kalcija v koreninah zelenjave, kar je rezultat tega, da je v prvem obdobju (do 10 000 let po zaprtju) prevladujoč radionuklid, ki največ doprinese k skupni dozi Ca – 41.



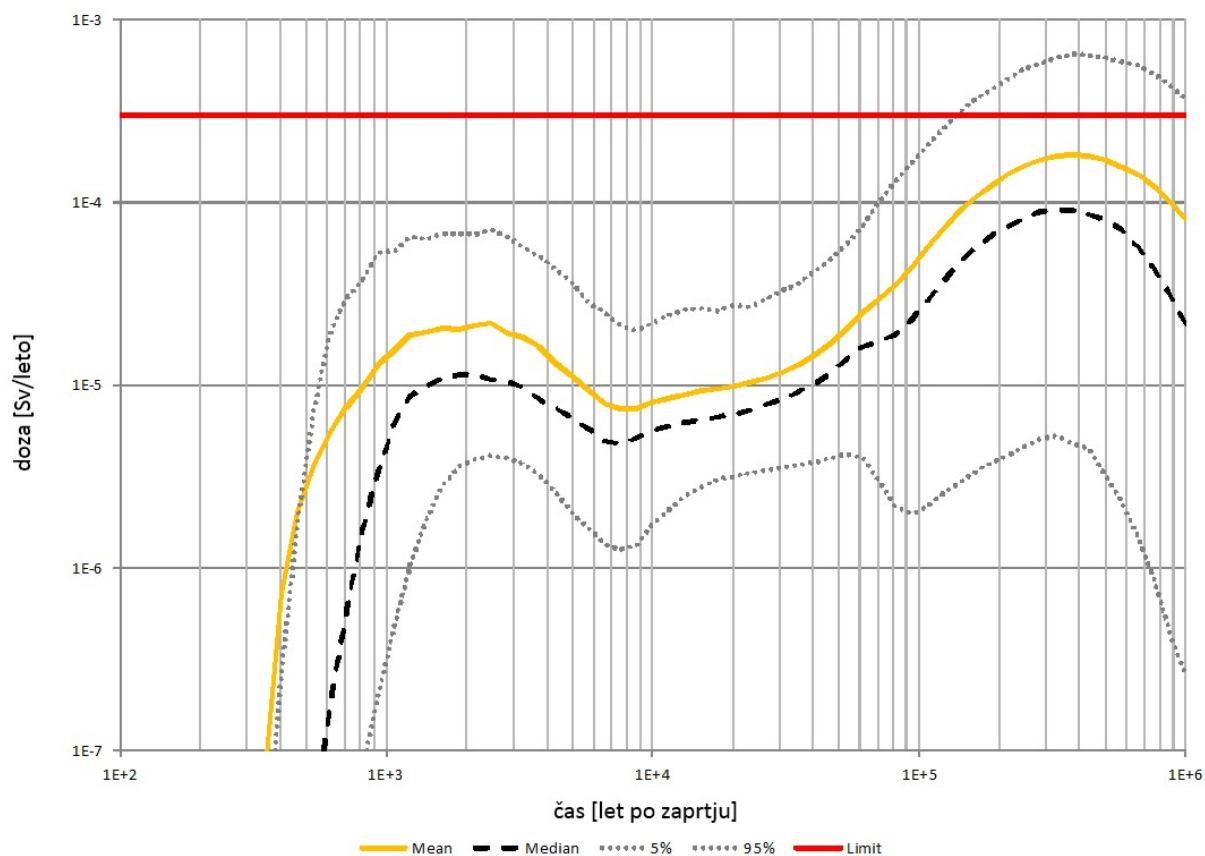
Slika 7-57: Doze na predstavnika kritične skupine prebivalstva ocenjene z verjetnostnimi analizami za različno nominalnega scenarija brez vodnjaka. Za primerjavo so prikazani tudi rezultati izračunani z determinističnimi ocenami (na sliki označeni kot nominalni). Meja (limit) je na grafu prikazana z omejitvijo 0,3 mSv/leto.



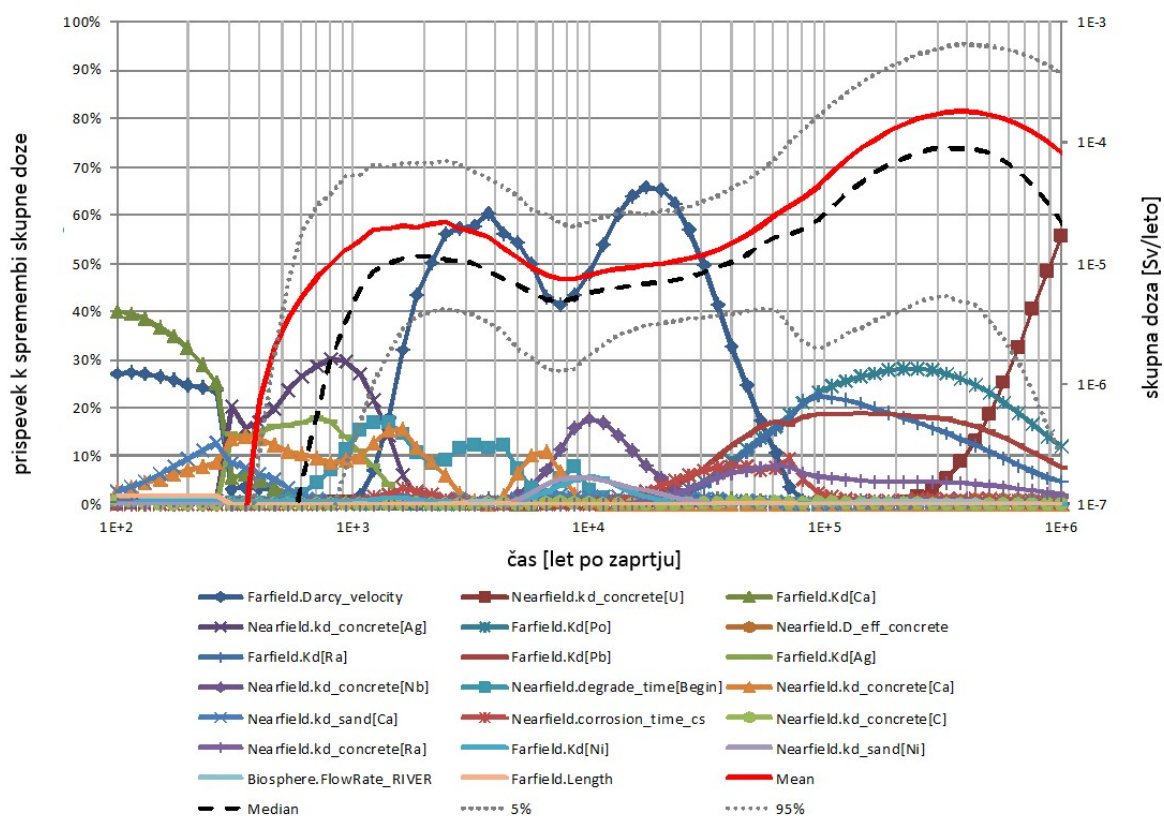
Slika 7-58: Prispevek posameznih parametrov k spremembi skupne doze, zaradi upoštevanja njihove nezanesljivosti, pridobljene iz verjetnostnih izračunov za različico nominalnega scenarija brez vodnjaka.

7.3.7.2 Zgodnja porušitev betonskih pregrad – verjetnostni preračuni

Rezultati verjetnostnih preračunov za scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad so prikazani na slikah Slika 7-59 in Slika 7-60. Podobni so rezultatom nominalnega scenarija razvoja dogodkov. Parametri toka hitrosti v modelu daljne okolice odlagališča še nekoliko bolj vplivajo na končni rezultat analize. Razlog je predvsem ta, da v primeru porušitve betonskih pregrad (bližnja okolica) daljna okolica predstavlja ključno hidrogeološko pregrado za migracijo radionuklidov. V kasnejšem obdobju so najbolj pomembni parametri sorbcije – K_d in tisti radionuklidi, ki imajo večjo nezanesljivost pri določitvi vrednosti K_d .



Slika 7-59: Doze na predstavnika kritične skupine prebivalstva ocenjene z verjetnostnimi analizami za scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad. Meja (limit) je na grafu prikazana z omejitvijo 0,3 mSv/leto.



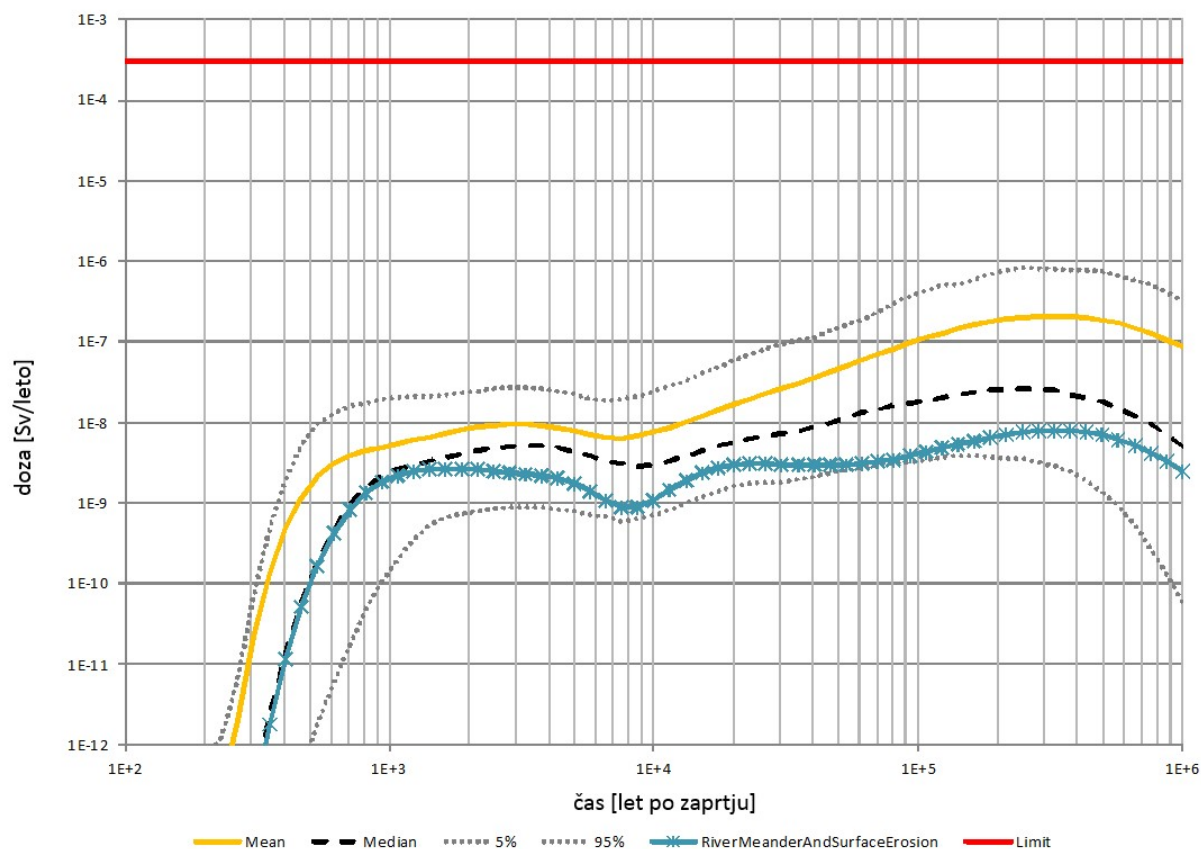
Slika 7-60: Prispevek posameznih parametrov k spremembi skupne doze, zaradi upoštevanja njihove nezanesljivosti, pridobljene iz verjetnostnih izračunov za scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad.

7.3.7.3 Scenarij meandriranja reke in površinske erozije – verjetnostni preračuni

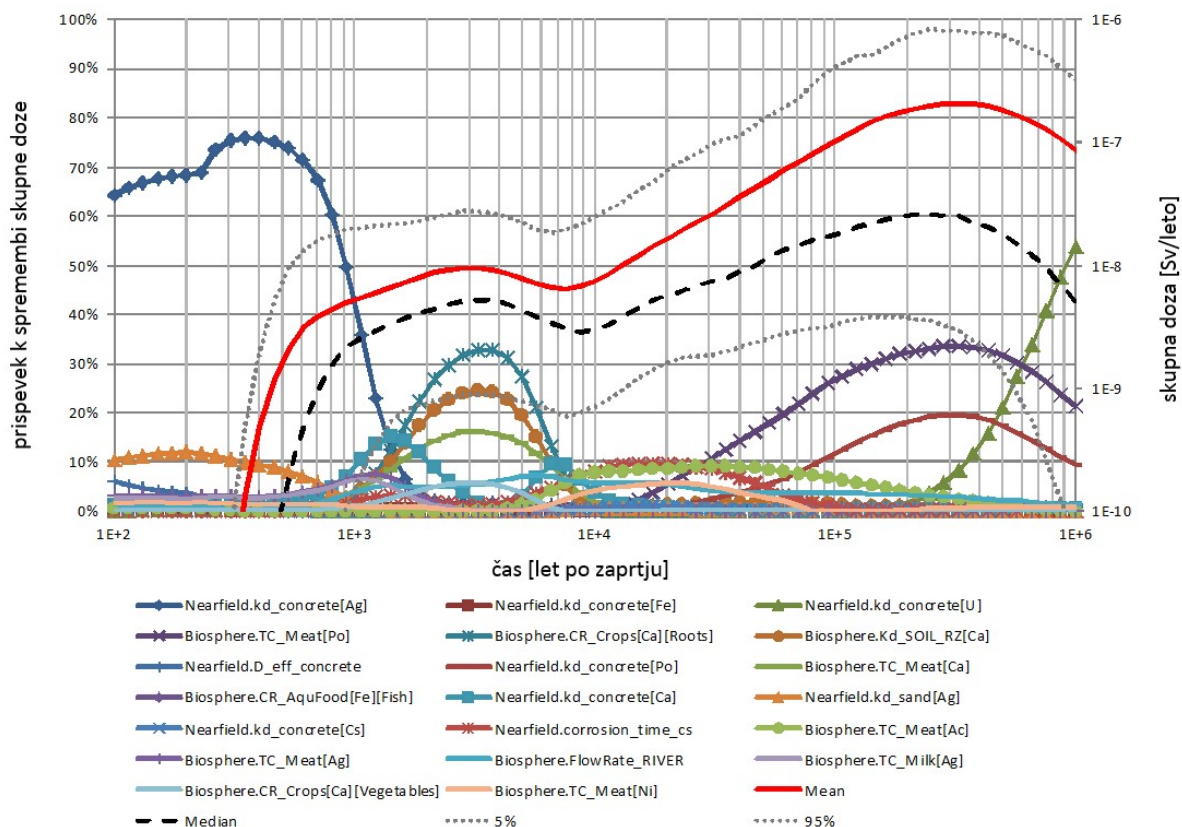
Podobno kot pri nominalnem scenariju razvoja dogodkov so bile v izračunih uporabljene funkcije gostote verjetnosti za naslednje parametre:

- korozijski časi za nerjavno in ogljikovo jeklo,
- čas razpada betona,
- Darcy jeva hitrost v modelu širše okolice odlagališča,
- debelina nasičene cone aluvialnega vodonosnika,
- dolžina poti toka od odlagališča do reke,
- pretok reke Save,
- razmerja koncentracij,
- sorpcijski koeficienti.

Skupina izračunanih rezultatov v okviru verjetnostnih simulacij je prikazana na sliki - Slika 7-61 občutljivost končnih rezultatov na spremembo posameznih parametrov pa je prikazan na sliki - Slika 7-62. Za celotno obdobje simulacije tudi rezultati izračuna 95 percentila ne presežejo omejitve 0,3 mSv/leto. Maksimalno dozo 0,05 mSv/leto doseže v prvem obdobju 95 percentil 10 000 let po zaprtju odlagališča. V obdobju, ko so ocenjene doze najvišje (5 000 – 10 000 let po zaprtju) ima največji doprinos k spremembi končne doze razmerje koncentracije kalcija v koreninah zelenjave. Zaradi tega ima Ca – 41 tudi največji doprinos k dozi pri maksimumu do 10 000 let po zaprtju odlagališča. Če primerjamo deterministične izračune s verjetnostnimi vidimo, da imajo deterministični rezultati vseskozi neko centralno tendenco in so malo pod izračunanimi vrednostmi za mediano in srednjo vrednostjo privzetih parametrov. Rezultati determinističnih analiz so takšni zaradi tega, ker so bili »a priori« privzete najboljše ocenjene vrednosti parametrov. Vendar so maksimumi za vse izračune istega velikostnega razreda.



Slika 7-61: Doze na predstavnika kritične skupine prebivalstva ocenjene z verjetnostnimi analizami za scenarij meandriranja reke in površinske erozije. Za primerjavo so prikazani tudi rezultati izračunani z determinističnimi ocenami (na sliki označeni kot RiverMeanderAndSurfaceErosion). Meja (limit) je na grafu prikazana z omejitvijo 0,3 mSv/leto.



Slika 7-62: Prispevek posameznih parametrov k spremembi skupne doze, zaradi upoštevanja njihove nezanesljivosti, pridobljene iz verjetnostnih izračunov za scenarij meandriranja reke in površinske erozije.

7.3.7.4 Občutljivostna analiza za posamezne parametre

V tem poglavju so predstavljeni rezultati občutljivostne analize za posamezne izbrane parametre. Predstavljajo poseben fokus na specifične parameter in radionuklide, ki so bili v okviru determinističnih in verjetnostnih preračunov prepoznani kot pomembni. Glavni namen tega poglavja pa je predstaviti vpogled v učinek in posledice nezanesljivosti za posamezne parametre na končne rezultate.

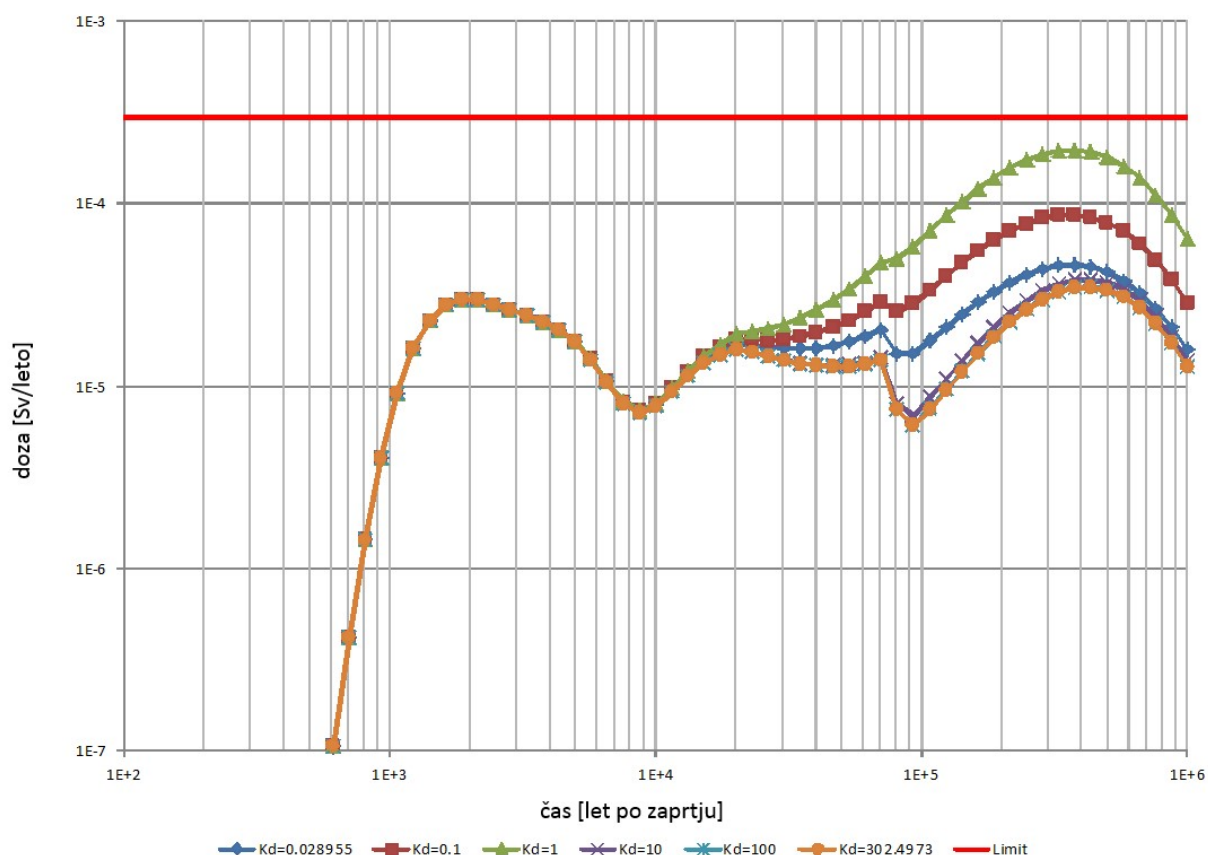
7.3.7.4.1 Sprememba sorpcije

Za preizkus modela na spremembo sorpcije za posamezne radionuklide je bil uporabljen nominalni scenarij razvoja dogodkov in uporabljene različne vrednosti sorpcije K_d za radij v modelu daljne okolice odlagališča. (Slika 7-63) Radij je bil izbran zato, ker je ključni radionuklid za daljše obdobje po zaprtju odlagališča, nima pa ključnega doprinosa v prvem obdobju (do 10 000 let po zaprtju).

Eden od razlogov za izbor radija je tudi ta, da sta v odlagališču dva različna izvora radija (Ra – 226). Prvi dozni maksimum radija je povezan z Ra - 226 v inventarju in je njegov razpadni čas 1600 let in ne prinese veliko k skupni dozi po obdobju 10 000 let po zaprtju. Maksimu h kateremu ključno prispeva Ra – 226 je rezultat radija, ki nastane zaradi razpada uranove (U –

238) verige. V tem primeru lahko opazimo kako spreminjanje koeficienta sorpcije za posamezen radionuklid (Ra – 226) vpliva na končno spremembo doznega maksimuma. V primeru vrednosti $K_d = 1 \text{ m}^3/\text{kg}$ ima izračunan maksimum vrednost 0,2 mSv/leto in pride do njega približno 375 000 let po zaprtju odlagališča. V primeru vrednosti $K_d = 302,5 \text{ m}^3/\text{kg}$ ima izračunan maksimum vrednost 0,03 mSv/leto in pride do njega 400 000 let po zaprtju. Iz rezultatov lahko opazimo, da izračunan maksimum ni linearen glede na spremembo vrednosti K_d . Najvišji maksimum dosežemo z vmesno vrednostjo parametra K_d – med njegovo najnižjo in najvišjo modelirano vrednostjo. Ta nelinearni efekt lahko razložimo s tem, da v primeru nizkih vrednosti sorpcije pride do hitrejšega odnašanja Ra – 226 in tako do večje razredčitve, pri visokih vrednostih parametra sorpcije pa se več Ra – 226 veže na okoliški material in so zato vrednosti maksimuma nižje. Najvišji maksimum je tako dosežen pri neki vrednosti K_d med minimalno in maksimalno vrednostjo parametra K_d .

Glavni prispevek k končni dozi zaradi uranove razpadne verige predstavljata potomca Ra - 226, to sta Po – 210 in Pb – 210, ki sta, na podlagi uporabe generičnih vrednosti za koeficiente sorpcije za te radionuklide, podobno kot Ra - 226, relativno mobilna v celotnem sistemu odlagališča NSRAO. Posledično je zato del nelinearnosti pri izračunu doze rezultat več prispevkov k končni dozi, ki ima za posledico občutno višjo dozo, kot bi bila, če bi upoštevali le Ra -226.

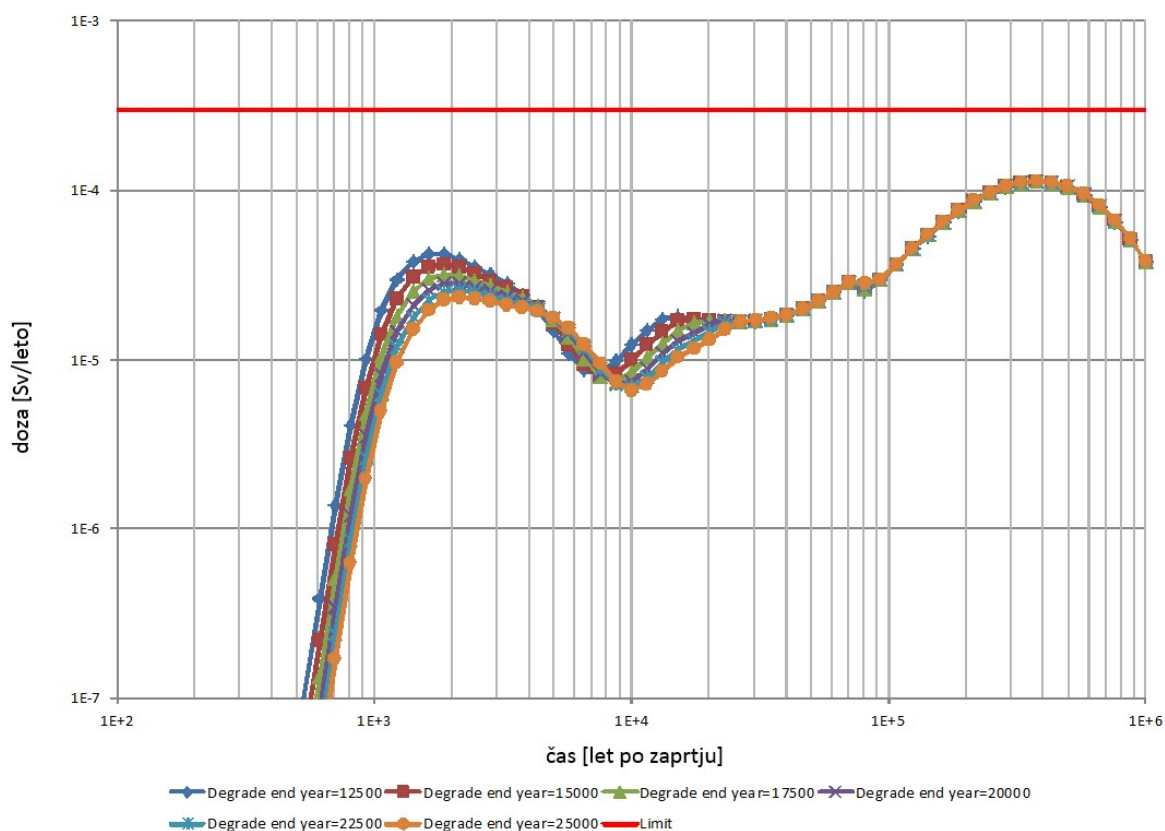


Slika 7-63: Vpliv spremembe koeficienta sorpcije radija v modelu daljne okolice odlagališča, na končno dozo.

7.3.7.4.2 Sprememba hitrosti razpada inženirskih pregrad

Za analizo vpliva hitrosti razpada inženirskih pregrad na končni rezultat je bil uporabljen nominalni scenarij pri katerem so bile uporabljeni različni časi razpada inženirskih pregrad. Uporabljeni so bili naslednji časi razpada: 12 500 let, 15 000 let, 17 500 let, 20 000 let, 22 500 let, in 25 000 let. Privzeti časi predstavljajo razpon možnih časov razpada inženirskih pregrad, kot so predstavljeni v poglavju 7.3.5.1 tega osnVP in povzeti po poročilu varnostnih analiz [73], kjer je bil za nominalno vrednost privzet čas 18 750 let. Rezultati občutljivostne analize so prikazani na naslednji sliki (Slika 7-64).

Kot je razvidno iz slike, je model zelo malo odvisen od spremembe časa degradacije inženirskih pregrad. V nobenem primeru doza ne preseže mejne vrednosti 0,3 mSv/leto. V primeru časa degradacije 12 500 let je izračunan maksimum 0,04 mSv/leto, 1 600 let po zaprtju. V primeru časa razpada 25 000 let pa je izračunan maksimum 0,02 mSv/leto, do katerega pride 2 000 let po zaprtju odlagališča.



Slika 7-64: Vpliv spremembe časa razpada inženirskih pregrad na končno izračunano dozo za nominalen scenarij razvoja dogodkov. Kjer pomeni »Degradate end year« konec razpada

7.3.7.4.3 Sprememba začetnega časa razpada pri scenariju zgodnja porušitev betonskih pregrad

V okviru verjetnostnih izračunov, so bile opravljene analize občutljivosti končnega rezultata pri scenariju zgodnje porušitve betonskih pregrad na spremembo začetnega časa porušitve. V izračunu so bili ovrednoteni naslednji začetki nastopa porušitve: 300, 500, 1 000, 3 000, 5

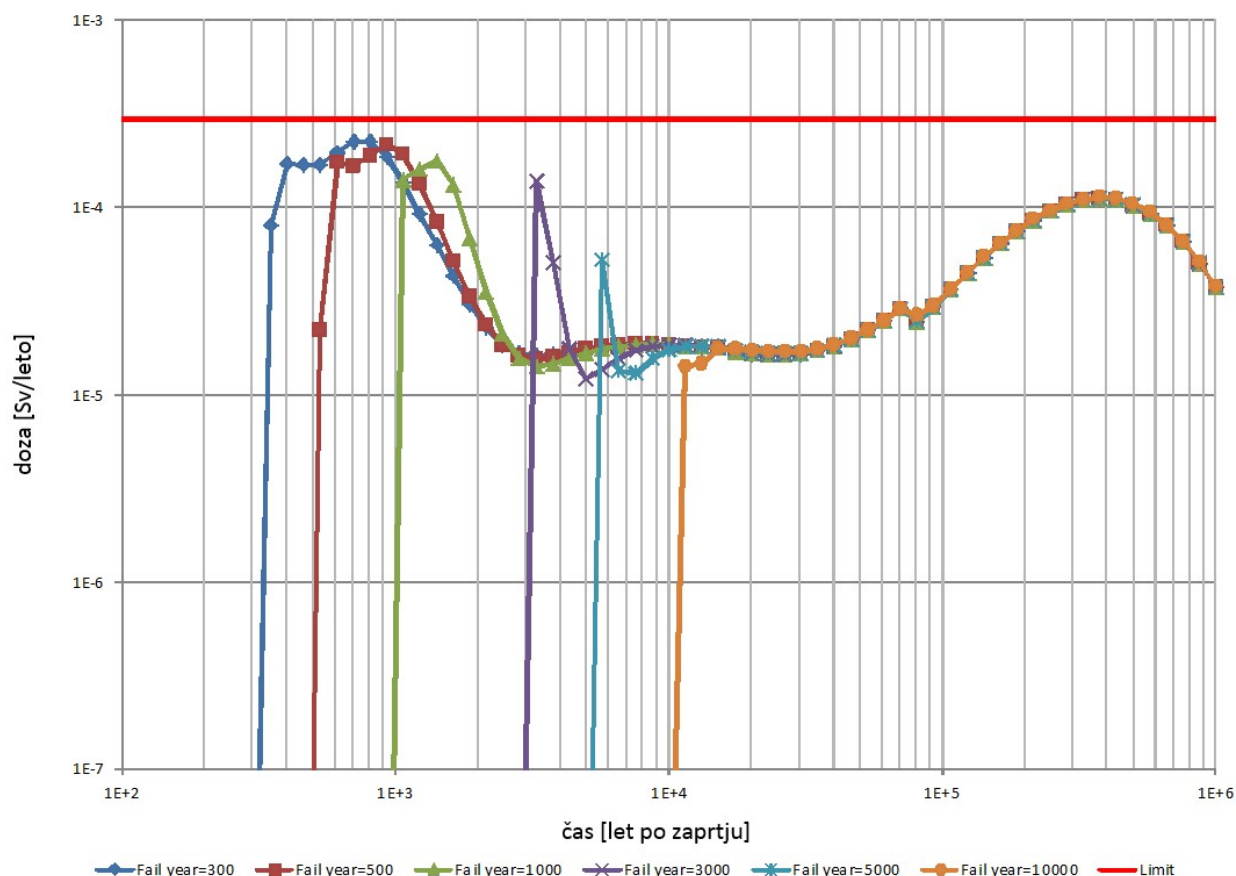
000 let po zaprtju odlagališča. Rezultati so predstavljeni na naslednji sliki (Slika 7-65). Vidimo lahko, da je maksimum za prvih nekaj časov skoraj neobčutljiv na ta parameter, potem pa se počasi znižuje. Izračunani maksimumi so podani v spodnji tabeli (

Tabela 7-55):

začetni čas porušitve [let po zaprtju odlagališča]	maksimum [mSv/leto]
300	0,23
500	0,22
1 000	0,18
3 000	0,14
5 000	0,05

Tabela 7-55: Izračunani maksimumi za različne začetne čase porušitve pri scenariju zgodnje porušitve betonskih pregrad

Do maksimuma je pri vseh začetnih časih prišlo približno 400 let po začetni porušitvi, kar predstavlja čas, ki ga ključni radionuklidi potrebujejo, da pridejo do predstavnika kritične skupine prebivalstva.



Slika 7-65: Vpliv spremembe začetnega časa porušitve betonskih pregrad na končno izračunano dozo za scenarij zgodnje porušitve betonskih pregrad

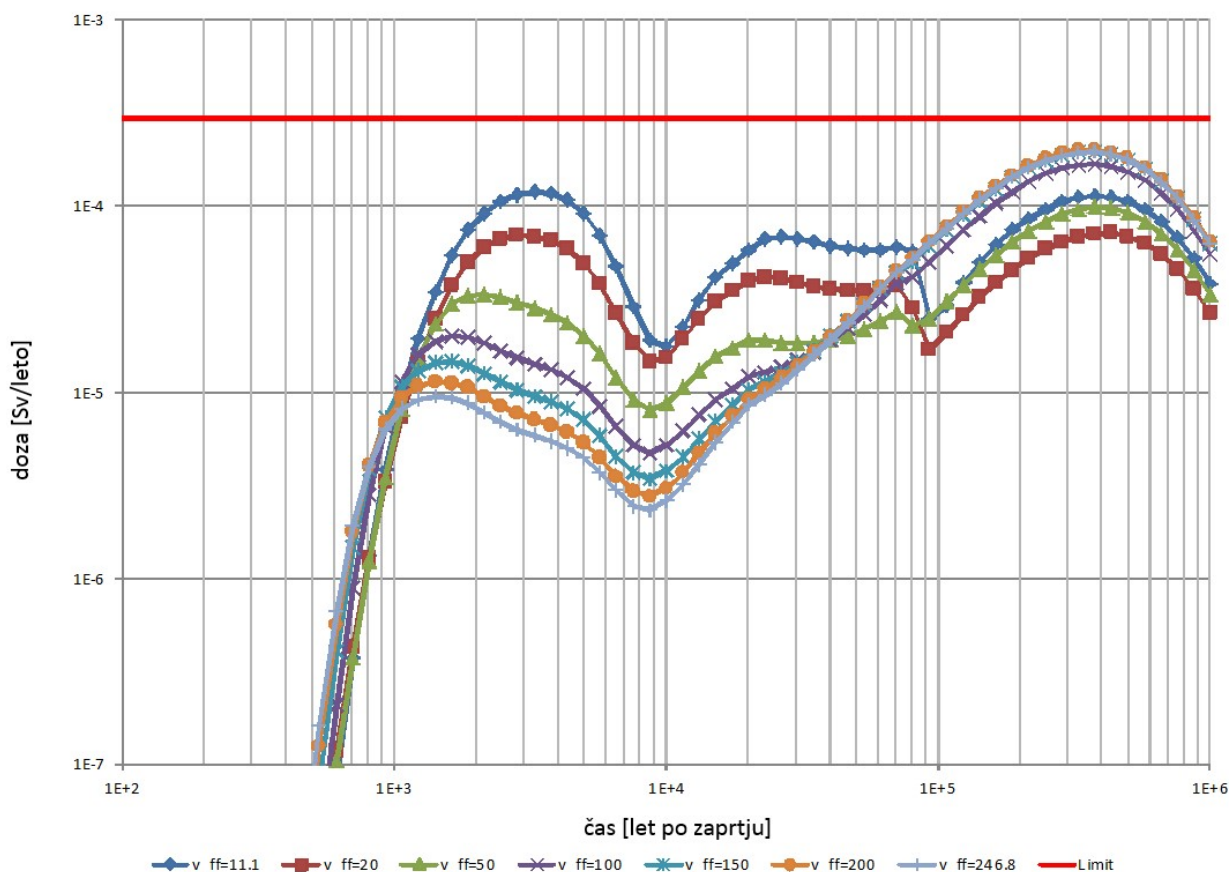
7.3.7.4.4 Sprememba hitrosti toka

Vpliv spremembe hitrosti toka v kvartarnem aluviju na končno oceno doze je predstavljen na spodnji sliki (Slika 7-66). Nominalna vrednost hitrosti je bila določena na 58,1 m/leto [82]. Glede na izvedene meritve hidravlične prevodnosti [91] pa so bile opredeljene možne hitrosti toka vode od 11,1 do 246,8 m/leto. V okviru občutljivostnih analiz so bile tako uporabljene vrednosti 11,1, 20, 50, 100, 150, 200 in 246,8 m/leto. Za izračun je bil privzet nominalen scenarij razvoja dogodkov.

Za pretok 11,1 m/leto je v obdobju do 10 000 let izračunan maksimum 0,12 mSv/leto, do katerega pride 3 200 let po zaprtju. Pri pretoku 246,8 m/leto pride do maksimuma 1 400 let po zaprtju in znaša 0,01 mSv/leto.

V prvem obdobju (do 10 000 let) večje hitrosti toka vode v vodonosniku povzročijo, da pride do maksimuma hitreje, vendar so maksimumi manjši. Do tega pride zaradi tega, ker hitrejši tok povzroči hitrejši transport in pride do večje razredčitve v geosferi in posledično v vodnjaku. Hitrost toka uporabljena v nominalnem scenariju ima, glede na vse rezultate centralno tendenco.

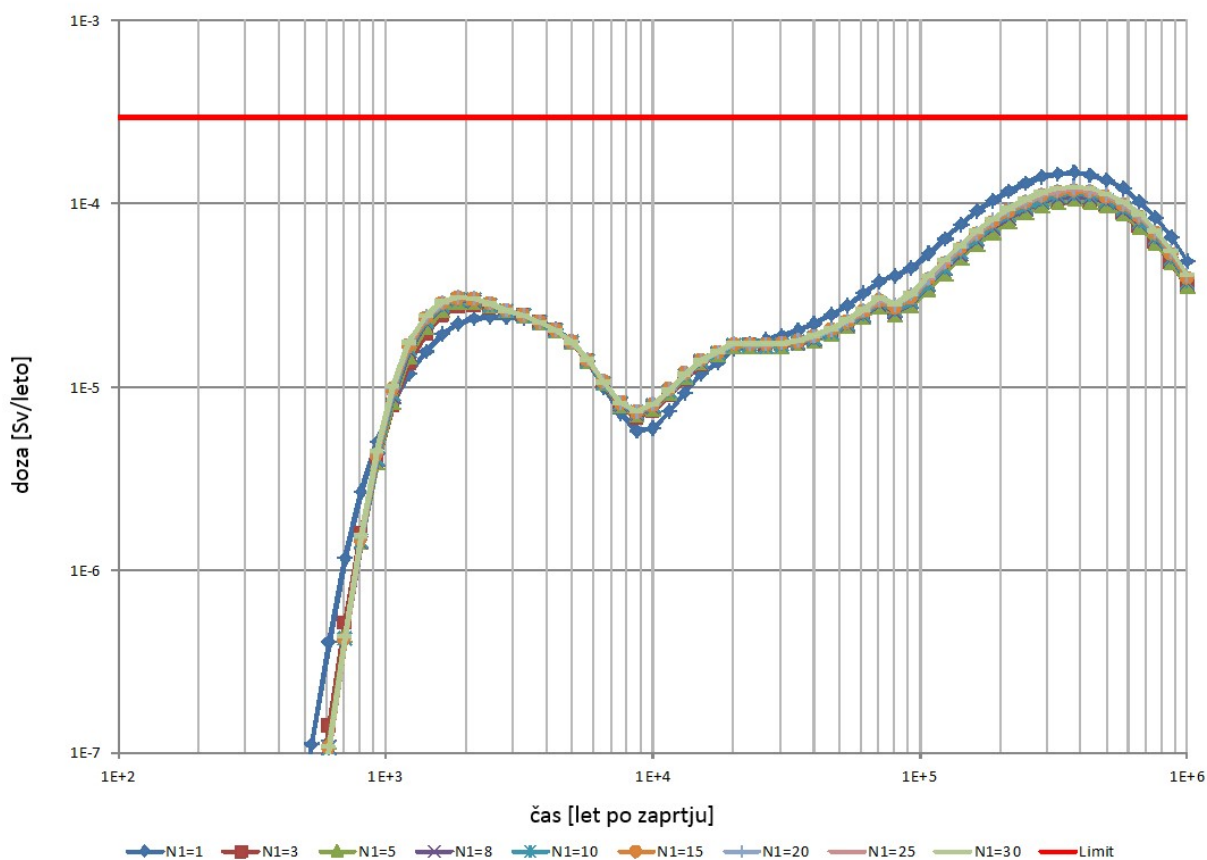
V poznejšem časovnem obdobju (po 10 000 let) lahko opazimo obratno povezavo. Večje hitrosti toka nam dajo nekoliko večje maksimume, vendar se trend pri hitrostih nad 100 m/leto umiri in so maksimumi primerljivi.



Slika 7-66: Vpliv spremembe hitrosti toka podzemne vode v vodonosniku na končno izračunano dozo za nominalni scenarij razvoja dogodkov

7.3.7.4.5 Sprememba gostote diskretizacije prostora v modelu

Kot je opredeljeno v poročilu o verifikaciji modela odlagališča [83], je obnašanje modela odvisno od diskretizacije modeliranega prostora (velikosti in števila celic na katerega je razdeljen model). Kot je opredeljeno v poročilu o verifikaciji modela odlagališča [83], je obnašanje modela odvisno od diskretizacije modeliranega prostora (velikosti in števila celic na katerega je razdeljen model). V ECOLEGU modelu je bilo tako za nominalen scenarij privzeto, da je tok od odlagališča do vodnjaka razdeljen – diskretiziran na 10 delov ($n = 109$). V analizi občutljivosti pa so bile privzete še vrednosti za n od 1 – 30. Rezultati analize so predstavljani na spodnji sliki (Slika 7-67). Opažen je majhen vpliv spremembe parametra na končni rezultat. Za vrednost diskretizacije $n = 1$ ima prvi maksimum vrednost 0,02 mSv/leto in se zgodi 2 800 let po zaprtju, za vrednost parametra $n=30$ pa ima prvi maksimum vrednost 0,03 mSv/leto, 1 900 let po zaprtju. Za vse vrednosti parametra n večje od ena se rezultati skoraj ujemajo.



Slika 7-67: Vpliv spremembe diskretizacije na končno izračunano dozo za nominalni scenarij razvoja dogodkov

7.3.7.4.6 Sprememba začetnega inventarja

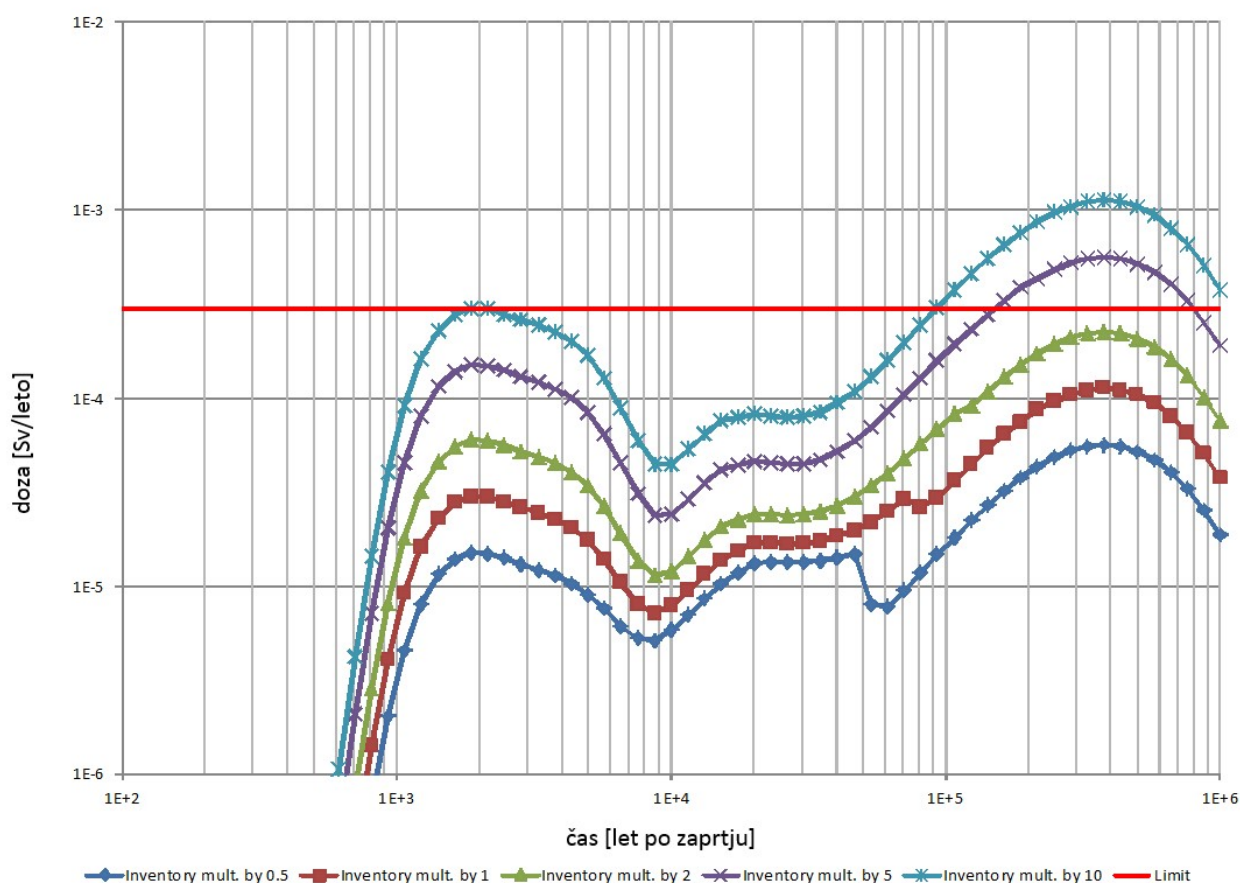
Za izvedbo občutljivostnih analize izračunane končne doze na začetni odloženi inventar je bil uporabljen nominalen scenarij v katerem je bil inventar v silosu pomnožen z faktorji 0,5, 2, 5 in 10. Rezultati so predstavljeni na spodnji sliki (Slika 7-68). Analiza je bila izvedena predvsem zato, ker zaradi kompleksnosti modela bližnje okolice odlagališča, ni bilo jasno ali so končni rezultati proporcionalni začetnemu inventarju, kar je običajno v primeru preprostih modelov bližnje okolice. Rezultati na spodnji sliki (Slika 7-68) kažejo, da je temu res tako tudi v tem primeru in da so končne doze linearno odvisne od začetnega inventarja. V vseh primerih pride

do prvega maksimuma 1 900 let po zaprtju odlagališča. Vrednosti za posamezne maksimume pa so predstavljene v spodnji tabeli (Tabela 7-1):

začetni inventar pomnožen s faktorjem	izračunan prvi maksimum [mSv/leto]
0,5	0,015
1	0,03
2	0,06
5	0,15
10	0,3

Tabela 7-56: Prvi maksimumi za različne začetne inventarje pri nominalnem scenariju razvoja dogodkov

Linearna odvisnost med inventarjem in maksimumi nam pokaže, da je vpliv mej topnosti za ključne radionuklide majhen ter, da so bile v izračunih privzete konzervativne (visoke) vrednosti.



Slika 7-68: Vpliv spremembe začetnega inventarja na končno izračunano dozo za nominalni scenarij razvoja dogodkov

7.3.8 OCENA VPLIVA TOKSIČNIH KOVIN

Kot je bilo opredeljeno že v poglavju 7.3.2 tega osnVP je bil v okviru varnostnih analiz ovrednoten tudi vpliv toksičnih kovin iz odlagališča na predstavnika kritične skupine

prebivalstva. Vpliv je bil primerjan s standardi za pitno vodo [53]. Vrednosti omejitev za posamezne toksične snovi so predstavljene v spodnji tabeli (Tabela 7-57):

Toksična kovina	Zakonska omejitev [µg/L]
krom	50
svinec	10
nikelj	20
kadmij	5
selen	10

Tabela 7-57: Zakonske omejitve za toksične snovi, ki lahko izhajajo iz odlagališča

Toksične kovine se v odpadkih v glavnem nahajajo v odpadkih, ki vsebujejo nerjavno jeklo [66]. V poročilu varnostnih analiz o inženirskih pregradah [73] so bile za faktor korozije (R_c), v pogojih odlagališča, privzete vrednosti med 0,01 in 0,2 µm/leto, za specifično površino (SA) teh materialov 3,4E-3 m²/kg in gostoto (ρ) 8 000 kg/m³. Iz zgornjih parametrov lahko ocenimo frakcijske izpuste za toksične kovine kot:

$$R_c \cdot SA \cdot \rho$$

Enačba 7-14: Izračun frakcijskega izpusta za toksične kovine

Ta znaša od 2,7E-7 do 5,4E-6 leto⁻¹. S pomočjo teh vrednosti in vrednosti ocene inventarja [66] lahko ocenimo hitrost izpustov toksičnih kovin iz odlagališča. ocene so podane v spodnji tabeli (Tabela 7-1).

Toksična kovina	Hitrosti izpustov [g/leto]
krom	38 – 750
svinec	0.6 – 12
nikelj	48 – 970
kadmij	0.008 – 0.2
selen	0.03 – 0.7

Tabela 7-58: Hitrosti izpustov posameznih toksičnih kovin iz odlagališča

Iz zgornjih podatkov je bilo ocenjeno, ali so izpusti pod dovoljenimi mejami navedenimi v tabeli (Tabela 7-57). Uporabljen je bil pristop izračuna koncentracije kovin v podzemni vodi iz vodnjaka, kakor je opisano v nominalnem scenariju razvoja dogodkov. Pristop vključuje več konzervativnih predpostavk, kot so: izpusti toksičnih kovin zaradi korozije pridejo direktno v vodonosnik, brez upoštevanja razredčitve, disperzije, sorpcije ali kake druge reakcije. V aluvialnem vodonosniku so upoštevani koeficienti sorpcije navedeni v spodnji tabeli (Tabela 7-59). Vis koeficienti razen za krom so bili pridobljeni v okviru terenskih raziskav na sami lokaciji [91], sorpcijski koeficient za krom je bil povzet po priporočilih ameriške agencije za okolje [92], [93].

Toksična kovina	K_d [m ³ /kg]
krom	0.018
svinec	0.22
nikelj	0.31
kadmij	0.24
selen	0.14

Tabela 7-59: Koeficienti sorpcije uporabljeni za oceno koncentracije toksičnih kovin iz odlagališča, v aluvialnem vodonosniku

Koncentracija posameznega onesnaževala v podzemni vodi je bila izračunana s pomočjo naslednje enačbe (Enačba 7-15):

$$C = \frac{RF_{sol}}{Q}$$

Enačba 7-15

Kjer pomeni:

C = koncentracija [μg/L]

R = hitrost izpusta [μg/leto]

F_{sol} = delež masne frakcije v raztopini [-]

Q = volumska hitrost toka [L/leto]

Hitrosti izpustov so bile upoštevane iz tabele Tabela 7-58, delež masne frakcije v raztopini pa lahko določimo s pomočjo sorpcijskega koeficienta, s pomočjo naslednje enačbe:

$$F_{sol} = \frac{1}{((1 - \phi)\rho_p K_d / \phi + 1)}$$

Enačba 7-16

Kjer pomeni:

ρ_p = gostota delcev materiala, ki absorbira [kg/m³]

K_d = koeficient sorpcije [m³/kg]

ϕ = poroznost [-]

Volumsko hitrost toka pa določimo iz enačbe:

$$Q = qhW_0$$

Enačba 7-17

Kjer pomeni:

q = Darcy jeva hitrost [m/s]

$W_0 \equiv$ širina kontaminacijskega oblaka [m]

Če enačbi Enačba 7-17 in Enačba 7-16 vstavimo v enačbo Enačba 7-15 lahko izračunamo koncentracijo.

$$C = \frac{R}{((1 - \phi)\rho_p K_d / \phi + 1)qhW_0}$$

Enačba 7-18

Za izračun koncentracije so bile uporabljene naslednje vrednosti:

- hitrost izpusta Tabela 7-58
- gostota delcev materiala 2 690 kg/m³ (povzeto iz [91])
- širina kontaminacijskega oblaka 29,3 m (približno premer silosa)
- Darcy jeva hitrost 11,1 m/s (model daljne okolice)
- debeline nasičene cone 3,7 m (povzeto iz [91])

pri določitvi vseh parametrov je bil upoštevan konzervativni pristop. Rezultati izračunov koncentracij toksičnih kovin so predstavljeni v naslednji tabeli (Tabela 7-60).

Toksična kovina	Izračunane koncentracije [µg/L]	Zakonska omejitev [µg/L]
krom	5.5	50
svinec	0.0072	10
nikelj	0.42	20
kadmij	0.00011	5
selen	0.00066	10

Tabela 7-60: Izračunane koncentracije toksičnih kovin iz odlagališča in zakonske omejitve za pitno vodo

Iz rezultatov in omejitev v zgornji tabeli (Tabela 7-60) je razvidno, da so pričakovani, konzervativno ocenjeni izpusti toksičnih kovin iz odlagališča pod predpisanimi omejitvami za pitno vodo.

7.3.9 OCENA VPLIVA NA NE ČLOVEŠKE ORGANIZME (NON HUMAN BIOTA)

Ocenjene koncentracije radionuklidov iz scenarija nominalnega razvoja dogodkov so bile v okviru varnostnih analiz uporabljene tudi za oceno posledic, ki bi jih te koncentracije lahko imele na ne človeške organizme. Upoštevane so bile maksimalne koncentracije ocenjene za reko (Slika 7-69) za oceno doz na vodne organizme in maksimalna koncentracija v zemlji (v območju koreninskega sistema) za ostale organizme (Slika 7-70).

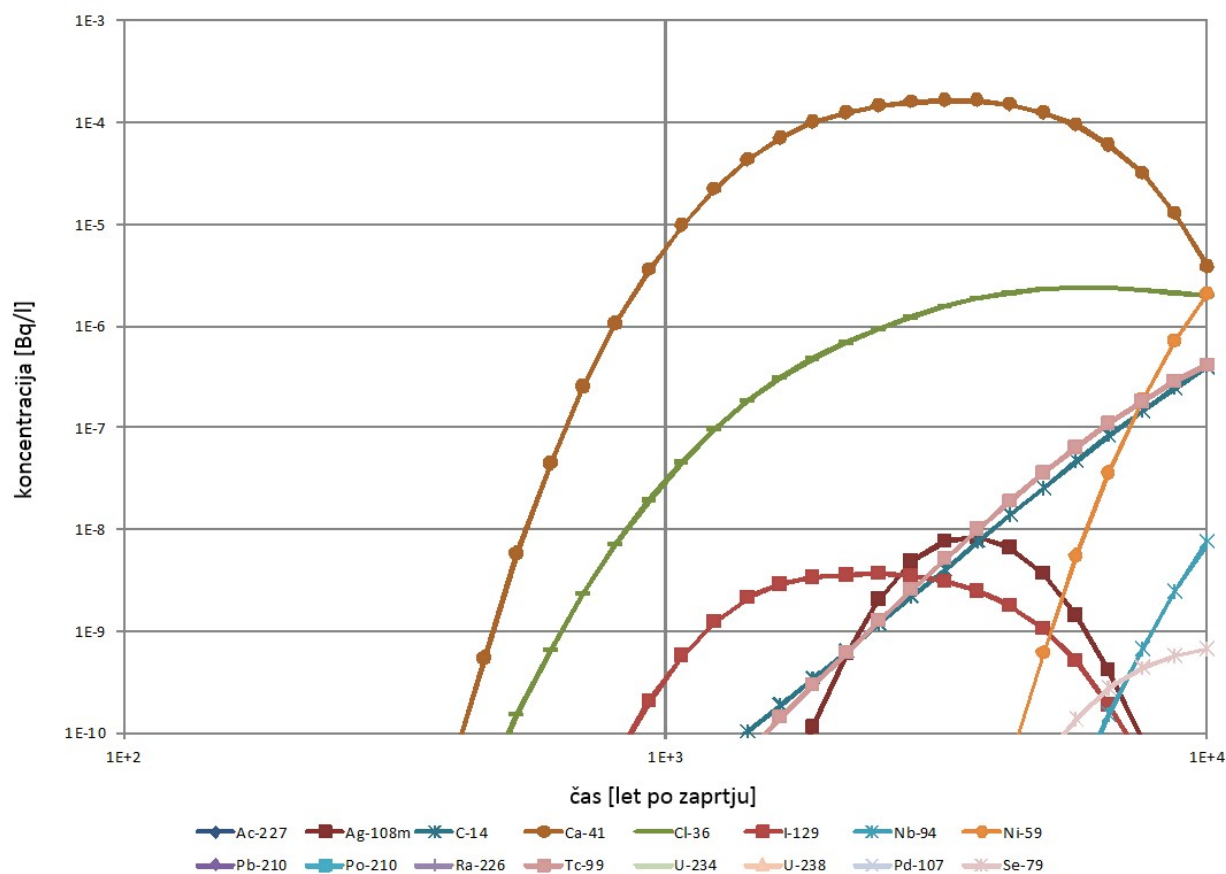
Za oceno vpliva je bil uporabljen programski paket ERICA, ki je podrobneje predstavljen v poročilu varnostnih analiz o uporabljenih programih [40]. Ocena pa je bila izvedena za referenčne organizme.

ICRP priporočila [57] za izpeljane obravnavane referenčne nivoje (Derived Consideration Reference Levels - DCRL) priporočajo za najbolj občutljive živali in rastline (Reference Animals and Plants) vrednosti med 4 in 40 µGy/h. DCRL ne predstavljajo strogih omejitev,

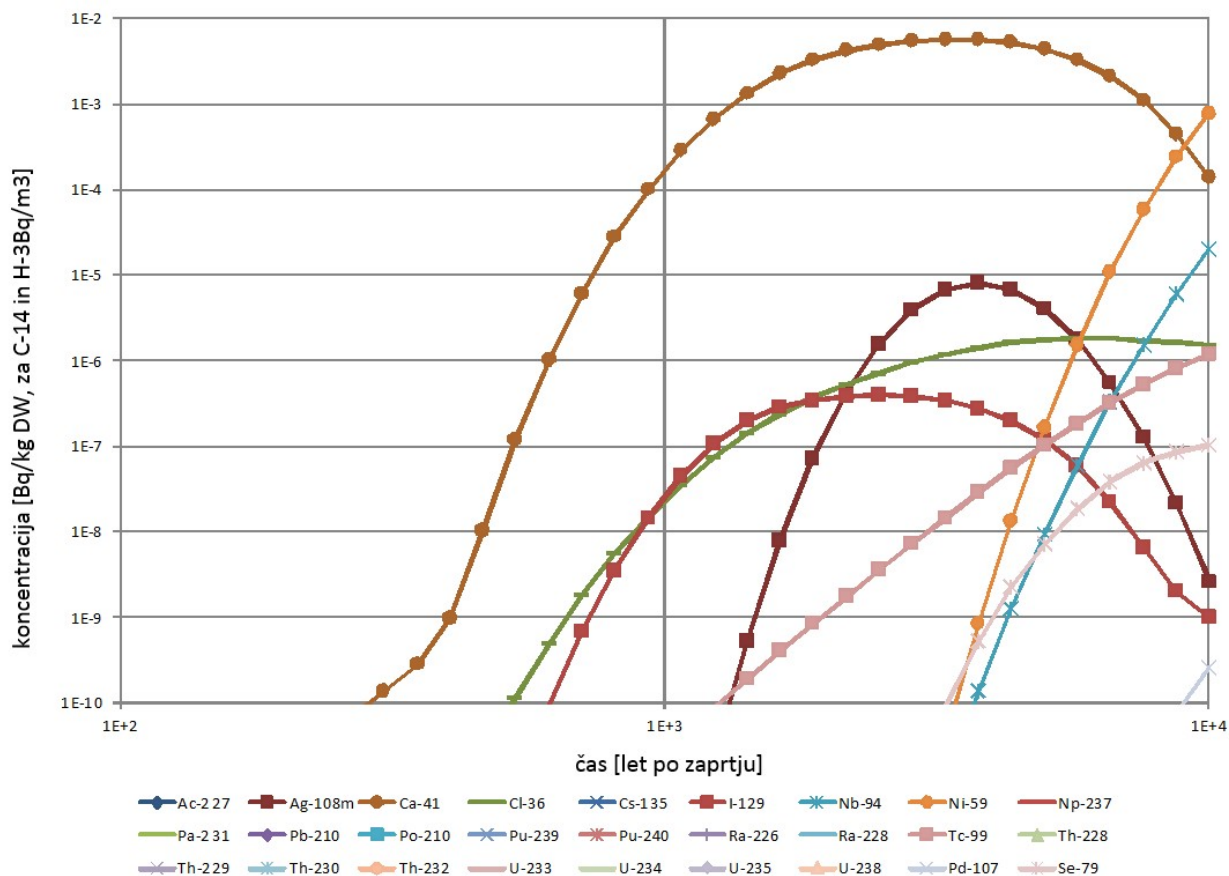
temveč vrednosti pri katerih bi lahko obsevanje imelo nek vpliv na organizme. Izračunane koncentracije doze, predstavljene v spodnji tabeli (Tabela 7-61) so kar nekaj magnitud pod priporočenimi DCRL vrednostmi.

kopenski organizmi	skupna hitrost doze [μGy/h]	rečni organizmi	skupna hitrost doze [μGy/h]
dvoživke	9,57E-09	dvoživka	1,18E-07
ptiči	9,91E-09	ribe, ki se zadržujejo v mulju	2,53E-06
polži	6,66E-09	ptice	1,21E-07
ptičja jajca	1,56E-08	školjke	2,88E-06
razkrojevalci nevretenčarji	1,74E-08	raki	2,99E-06
leteči insekti	6,64E-09	polži	2,97E-06
trava in zelišča	1,38E-08	ličinke insektov	5,81E-06
lišaji in mahovi	2,17E-09	vodni sesalci	1,21E-07
sesalci (jelen)	8,29E-09	ribe, ki se ne zadržujejo v mulju - Pelagic fish	8,90E-08
sesalci (podgana)	1,93E-08	fitoplankton	7,71E-10
plazilci	9,32E-09	višje razvite rastline	3,06E-06
grmovje	7,83E-09	zooplankton	2,03E-07
zemeljski nevretenčarji (črvi)	1,76E-08		
drevo	6,02E-09		

Tabela 7-61: Ocenjene doze na ne človeške organizme



Slika 7-69: Maksimalne koncentracije v reki, uporabljene za oceno vpliva na vodne organizme



Slika 7-70: Koncentracije v zemlji uporabljene za oceno vpliva na kopenske organizme

7.3.10 ZAKLJUČKI VARNOSTNIH ANALIZ ZA OBDOBJE PO ZAPRTJU ODLAGALIŠČA

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 takov 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 deterministični 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 10 000 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 z 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 verjetno 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 Vrbin, 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.

7.3.11 OBRAVNAVANJE NEGOTOVOSTI IN ANALIZA OBČUTLJIVOSTI

Negotovosti in analiza občutljivosti so podrobneje obravnavani v poglavju 7.3.7 tega osnVP. Obravnavane negotovosti lahko razdelimo na:

- negotovosti, ki izvirajo iz **uporabljenih modelov** pri izdelavi varnostnih analiz
 - o gostota diskretizacije v modelu
- negotovosti, ki izvirajo iz **scenarijev razvoja** odlagališča po zaprtju;
 - o verjetnostna analiza nominalnega scenarija, glede na različne parametre (poglavje 7.3.7.1)
 - o verjetnostna analiza nominalnega scenarija brez vodnjaka, glede na različne parametre (poglavje 7.3.7.1.1)
 - o verjetnostna analiza scenarija zgodnje porušitve betonskih pregrad glede na različne parametre (poglavje 7.3.7.2)
 - o verjetnostna analiza scenarija meandriranja reke in površinske korozije glede na različne parametre (poglavje 7.3.7.3)
- negotovosti, ki izvirajo iz **vhodnih podatkov**
 - o korozijski časi za nerjavno in ogljikovo jeklo,
 - o čas razpada betona,
 - o Darcy jeva hitrost v modelu širše okolice odlagališča,
 - o debelina nasičene cone aluvialnega vodonosnika,
 - o dolžina poti toka od odlagališča do reke,
 - o pretok reke Save,
 - o razmerja koncentracij,
 - o sorpcijski koeficienti
 - o začetni inventar

Zgoraj navedenim negotovostim je potrebno v naslednjih fazah posvetiti posebno pozornost in negotovosti zmanjšati.

Iz opravljenih analiz pa sledijo naslednji zaključki:

- 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 10 000 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 sistema 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.

V naslednji fazi analiz je potrebno jasneje opredeliti:

- Vpliv nehomogenosti odpadkov na doze za zaposlene in prebivalstvo (po scenariju bodo najprej odloženi obratovalni odpadki in šele nato odpadki iz razgradnje)
- Podrobneje opredeliti vpliv doz na različne starostne skupine

LITERATURA

- [1] *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste*, SSG-23. IAEA, 2012.
- [2] *Posebna varnostna analiza za umestitev odlagališča NSRAO, Lokacija Vrbin v občini Krško, dec.2006*. ARAO, DDC, ZVD, ZAG in Imos Geateh.
- [3] *Odlagališče NSRAO Vrbin Študija variant, rev.1 NSRAO- Vrb.ŠV/ ŠV 01/06, T-2136, december 2006*. Acer Novo mesto d.o.o., Savaprojekt d.d.
- [4] *Državni prostorski načrt za odlagališče NSRAO na lokaciji Vrbin v občini Krško - Sprejet dokument, 07 - 180 - 00, NSRAO - Vrb-pDPN 01-09, 02-01-067-006, december 2009*. Acer Novo mesto d.o.o., Savaprojekt d.d.
- [5] *Odlagališče NSRAO Vrbin, Krško, Idejna zasnova Rev.C*. 2016.
- [6] *Splošen pregled poročila o varnostni oceni, NSRAO2- SWG-003-01-slo, ARAO - EISFI - TR-(11)-15 Vol5*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [7] *Varnostna ocena po zaprtju, Zbirno poročilo, Izdaja 1, NSRAO2-PCS-001-01-slo, ARAO, EISFI-TR-(11)-15 Vol.1 Rev.1*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [8] *Obratovalna varnostna ocena, Zbirno poročilo, Izdaja 2, NSRAO2-OPS-001-01, ARAO, EISFI-TR-(11)-15 Vol.4 rev.2*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [9] *WAC zbirno poročilo -povzetek in priporočila za optimizacijo, izdaja 1, NSRAO2-WAC-001-01-slo, ARAO, EISFI-TR-(11)-15 Vol.3 Rev.1*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [10] *Poročilo o optimizaciji varnosti po zaprtju, izdaja 1, NSRAO2-PCS-002-01-slo, ARAO, EISFI-TR-(11)-15 Vol.2 Rev.1*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [11] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, OPERATIONAL SAFETY ASSESSMENT CONTEXT REPORT, ARAO, EISFI-TR-(11)-11 Vol.1, NSRAO2-OPS-002-01*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [12] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, SYSTEM DESCRIPTION FOR OPERATIONAL SAFETY ASSESSMENT, ARAO, EISFI-TR-(11)-11 Vol.2, NSRAO2-OPS-003-001-eng*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [13] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Operational safety assessment Report on Scenarios, Models and Results of Calculations, ARAO, EISFI-TR-(11)-11 Vol.3, NSRAO2-OPS-004-01-e*. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [14] *Revizija in optimizacija projektnih rešitev iz IDP - SILOS*. NSRAO2-ŠTU-002-01, IBE d.d., 2011.
- [15] *Revizija in optimizacija projektnih rešitev iz IDP - Tehnologija odlaganja, NSRAO2-ŠTU-003-01, NRVB 3x1060*. IBE d.d., 2011.

- [16] *Optimizacija neodlagalnega dela odlagališča*. NSRAO2-ŠTU-014-01, IBE d.d., 2014.
- [17] *SAFETY ANALYSIS AND WASTE ACCEPTANCE CRITERIA PREPARATION FOR LOW AND INTERMEDIATE LEVEL WASTE REPOSITORY IN SLOVENIA Phase II and III, Revised Operational Safety Assessment*, ARAO, EISFI-TR-(15)-37 Vol. 1, NSRAO2-PCS-019-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2016.
- [18] "Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV - D)." (Uradni list RS, št. 102/2004, 60/2011, 74/2015), 2015.
- [19] 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.
- [20] *Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2)*. Uradni list RS, št. 49/2004.
- [21] *Pravilnik o dejavnih sevalne in jedrske varnosti (JV5)*. (Uradni list RS, št. 74/16).
- [22] *Razširjeno poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v Republiki Sloveniji za leto 2015*. URSJV, 2016.
- [23] *The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste*, GSG-3. Vienna: IAEA, 2013.
- [24] *Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a Coordinated Research Project, Volume 2: Test cases*, IAEA - ISAM. .
- [25] "SAFRAN 2.3.2.0. <http://www.safran.facilia.se/safran/show/HomePage>." .
- [26] *Odlagališče NSRAO Vrbin, Krško, Investicijski program*, Rev. C., IBE, d.d., 2013.
- [27] *Projektne osnove za odlagališče NSRAO Vrbin, Krško - faza presoje vplivov na okolje, Revizija 1*, 02-08-011-001/NSRAO2-POR-013-01. ARAO, 2016.
- [28] *Obratovanje, referenčna dokumentacija za osnVP*, NSRAO2-POR-020-01, 02-08-001-003, NRVB 5X/M23. IBE d.d., 2016.
- [29] *Obratovalni pogoji in omejitve, referenčna dokumentacija za osnVP*, NSRAO2-POR-027-00 02-08-011-003. IBE, 2016.
- [30] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Gas Generation Processes and Design Implications*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08 Vol.4, Rev 1. NSRAO2-PCS-010-01-eng, 2012. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO).
- [31] *Sklep o objavi Sprememb in dopolnitev Prilog A in B k Evropskemu sporazumu o mednarodnem cestnem prevozu nevarnega blaga /ADR/*. (Ur.l. RS št. 9/2003) s spremembami in dopolnitvami (Ur. l. RS št. 9/2005, 9/2007, 125/2008, 97/2010, 14/2013, 10/2015).
- [32] *Geological Disposal – Waste package accident performance status report. Report NDA/RWMD/032*. NDA, 2010.
- [33] *Geological Disposal – Upstream Optioneering. Overview and uses of the 6 cubic metres concrete box. NDA Technical Note no. 18959097*. NDA, 2013.

- [34] *Waste Package Impact Release Fraction Data. Report 24857-14-01.* NDA, 2010.
- [35] *Release Fractions from Vault Impacts at 15 metres. Report 124857-08.* NDA, 2011.
- [36] *Terrorist Attack Scenario Analysis Supplementary Report to Revised Operational Safety Assessment, Technical Report ARAO, EISFI-TR-(15)-37 Vol. 1 - INTERNO.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2016.
- [37] Consortium EISFI, *Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia -Operational safety assessment Report on Scenarios, Models and Results of Calculations Rev. 1.* 2012.
- [38] *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).* ICRP, 2012.
- [39] K. F. Eckerman and J. C. Ryman, *External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil. Federal Guidance Report No. 12. EPA-402-R-93-081.* 1993.
- [40] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Software quality assurance report, ARAO, EISFI-TR-(11)-08, Vol. 9, Rev.1, NSRAO2-PCS-015-01-eng.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [41] S. G. Homann and S. G. Aluzzi, *HotSpot Health Physics Codes Version 3.0 User's Guide. LLNL-SM-636474. National Atmospheric Release Advisory Center, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore.* 2014.
- [42] IAEA, *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, SRS No. 19.* 2001.
- [43] ARAO, *Ovrednotenje DCF faktorjev za izračun efektivnih doz, ki jo lahko prejme posameznik v posamezni starostni skupini prebivalstva za odlagališče NSRAO 02-08-030 NSRAO2-OPS-006-00.* 2018.
- [44] Z. Petkovšek, *Emisijski potencial SO₂ za večino kotlin Slovenije, Razpr. - Druš. meteorol. Slov., 23, 2, str. 37-49. [COBISS.SI-ID 1327716]*. 1979.
- [45] *Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a.* Official Journal of the EU, Volume 57, january 2014.
- [46] IAEA, *Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a Coordinated Research Project, Volume 1: Review and Enhancement of Safety Assessment Approaches and Tools, IAEA - ISAM.* 2004.
- [47] NCRP, *Performance Assessment of Low-Level Waste Disposal Facilities. NCRP Report 152. U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements.* Bethesda, 2005.
- [48] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate level Waste Repository in Slovenia, ASSESSMENT CONTEXT REPORT, ARAO, EISFI-TR-(11)-04, Rev. 2, NSRAO2-PCS-003-01-eng.* Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [49] *Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Ann. ICRP, Vol. 28, 4. ICRP,* 2000.

- [50] *Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108, Ann. ICRP Vol. 38 Issue 4-6. ICRP, 2009.*
- [51] *Risk-Based Classification of Radioactive and Hazardous Chemical Wastes. Report 139 of the U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Bethesda. NCRP, 2002.*
- [52] *Management of low and intermediate level radioactive wastes with regard to their chemical toxicity. IAEA-TECDOC-1325. International Atomic Energy Agency, Vienna. IAEA, 2002.*
- [53] *Pravilnik o pitni vodi. (Uradni list RS, št. 19/04).*
- [54] *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.*
- [55] J. A. Adam and V. L. Rogers, *A Classification System for Radioactive Waste Disposal – What Waste Goes Where. Status Report on Waste Classification 1 October 1977–31 May 1978, U.S. Nuclear Regulatory Commission Report NUREG-0456. .*
- [56] *Draft Environmental Impact Statement: Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste. NUREG-0782 Vol. 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. USNRC, 1981.*
- [57] *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier. ICRP, 2007.*
- [58] <http://www.project.facilia.se/erica/download.html>. .
- [59] *Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1. Vienna: IAEA, 2006.*
- [60] *Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Disposal of Radioactive Waste Repositories. IAEA-TECDOC-767. International Atomic Energy Agency, Vienna. IAEA, 1994.*
- [61] *The Handling of Timescales in Assessing Post-closure Safety. Nuclear Energy Agency. NEA, 2004.*
- [62] *Nuclear Energy Agency Radioactive Waste Management Committee Integration Group for the Safety Case (IGSC), Workshop on Handling of Time Scales Assessing Post-Closure Safety, NEA/RWM/IGSC(2002)6. NEA, 2002.*
- [63] *“Reference Biospheres” for Solid Radioactive Waste Disposal. Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASSESSment (BIOMASS) Programme IAEA-BIOMASS-6. International Atomic Energy Agency Safety, Vienna. IAEA, 2003.*
- [64] *Inventory Screening for Post-Closure Safety Assessment. Report No. EISFI-TR-(11)-08, Vol. 5, Rev.1, May 2012, NSRAO2-PCS-011-01-eng. (ARAO) ENCO, INTERA, Studsvik, FACILIA, IRGO, 2012.*
- [65] *Consortium EISFI, Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Inventory report, Technical Report ARAO, EISFI-TR-(11)-12 Vol.1, Rev.4. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2014.*
- [66] *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.
- [67] Odlagališče NSRAO Vrblina, Krško, Idejni projekt Rev. A. NSRAO-Vrb-IDP 01/09, IBE d.d., 2009.
- [68] Consortium EISFI, *Report on safety relevance of the design optimisation proposals*, NSRAO2-SWG-004-01-eng. 2015.
- [69] *Safety Assessment for Facilities and Activities*, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4. IAEA.
- [70] *REPORT ON INITIAL SCENARIOS UNDER POST - CLOSURE CONDITIONS*, EISFI-TR-(11)-07, Rev 1, NSRAO2-PCS006-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [71] NEA, *Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste - An International Database*. 1999.
- [72] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, POST-CLOSURE SAFETY ASSESSMENT MODEL REPORT*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08 Vol.6, Rev. 1, NSRAO2-PCS-012-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [73] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Evolution of the Engineered Barrier System*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08 Vol.3, NSRAO2-PCS-009-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [74] *Izdelava metodologije za presojo varnosti inženirskih ograd odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov, Izdelek 3. faze, Končno poročilo (Methodology for safety assessment of engineering barriers for low and intermediate level waste repository*,. Univerza v Ljubljani, FGG, 2006.
- [75] J. C. Walton, L. E. Plansky, and R. W. Smith, *Models for Estimation of Service Life of Concrete Barriers in Low-level Radioactive Waste Disposal*, NUREG/CR-5542. 1990.
- [76] USDOE, *The U.S. Department Of Energy Idaho National Laboratory Site Draft Section 3116 Waste Determination For Idaho Nuclear Technology And Engineering Center Tank Farm Facility. Appendix E. Degradation Analysis of the Grouted Tank/Vault and Piping System*. 2006.
- [77] K. H. Subramanian, *Life Estimation of High Level Waste Tank Steel for F-Tank Farm Closure Performance Assessment*, Rev.1. WSRC-STI-2007-00061, Rev. 1, Savannah River National Laboratory. 2007.
- [78] R. N. Swamy, *Alkali-Aggregate Reaction - The Bogyman of Concrete*, *Concrete Technology: Past, Present and Future. The Proceedings of the V. Mohan Malhotra Symposium ACI SPI-144*, P. K. Mehta (ed.), American Concrete Institute, pp. 105–140. 1994.
- [79] *Poročilo o izvedbi programa dopolnilnih začetnih terenskih in laboratorijskih raziskav geosfere in hidrosfere za potencialno lokacijo Vrblina-Krško, rev.1.,. J.V. GeoZS, ZAG, Geoinženiring, IRGO, ZZVMB*, 2009.
- [80] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Near Field Flow Modelling Report*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08, Vol.1, NSRAO2-PCS-007-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA,

STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.

- [81] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, POST-CLOSURE SAFETY ASSESSMENT PARAMETERS REPORT*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08 Vol.7, NSRAO2-PCS-013-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [82] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, Far Field Flow Modelling Report*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08, Vol.2, NSRAO2-PCS-008-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [83] *Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate Level Waste Repository in Slovenia, VERIFICATION AND TESTING OF THE SAFETY ASSESSMENT MODEL REPORT*, ARAO, EISFI-TR-(11)-08 Vol.8, NSRAO2-PCS-014-01-eng. Konzorcij EISFI (ENCO, INTERA, STUDSVIK, FACILIA, IRGO), 2012.
- [84] *Conceptual Hydrodynamic and Transport Checking Model of the LILW Repository Impact Area, Final report- Revision 1*, 02-01-069-014. HGEM d.o.o. in drugi, 2010.
- [85] S. Kamboj, C. Yu, and D. J. LePoire, *External Exposure Model Used in the RESRAD Code for Various Geometries of Contaminated Soil*. ANL/EAD/TM-84, Argonne National Laboratory. 1984.
- [86] B. A. Napier, *Intruder Dose Pathway Analysis for the Onsite Disposal of Radioactive Wastes: The ONSITE/MAXI1 Computer Program*. NUREG/CR-3620, PNL-4054, prepared by Pacific Northwest Laboratory, Richland, Wash., for U.S. Nuclear Regulatory Commission, Division of Waste . 1984.
- [87] R. L. Aaberg, W. E. J. Kennedy, and V. W. Thomas, *Definition of Intrusion Scenarios and Example Concentration Ranges for the Disposal of Near-surface Waste at the Hanford Site*. PNL-6312. 1990.
- [88] A. J. Baker, D. A. Lever, J. H. Rees, M. C. Thorne, C. J. Tweed, and R. S. Wikramaratna, *Nirex 97: An Assessment of the Post-closure Performance of a Deep Waste Repository at Sellafield. Volume 4: The Gas Pathway*, Nirex Science Report S/97/012, United Kingdom Nirex Ltd., Harwell, Oxfordshire. 1997.
- [89] "<http://ecolego.facilia.se/ecolego/show/HomePage>." .
- [90] M. D. McKay, R. J. Beckman, and W. J. Conover, *A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, Technometrics (JSTOR Abstract)*. American Statistical Association, 239 - 245. 1979.
- [91] *Glavne raziskave geo in hidrosfere za potrebe graditve odlagališča NSRAO, rev 1.*, 2015. J.V. IRGO Consulting d.o.o., GeoZS ,NLZOH Maribor, Geoinženiring d.o.o., ZAG.
- [92] J. D. Allison and T. D. Allison, *Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil, and Waste*. EPA/600/R-05/74. Washington, DC. 2005.
- [93] US EPA, *Understanding Variation in Partition Coefficient, Kd, Values, Volume II: Review of Geochemistry and Available Kd Values for Cadmium, Cesium, Chromium, Lead, Plutonium, Radon, Strontium, Thorium, Tritium (3H), and Uranium*. EPA 402-R-99-004B. U.S. Environme. 1999.