

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:	marec 2019	
Revizija	5	
Število izvodov:		
Objekt:	Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško	
Izvajalec:	ARAO, Ljubljana	
Odgovorni vodja projekta	mag. Sandi Viršek, univ. dipl. inž. geoteh. in rud.	
Naslov dokumenta: osnutek Varnostnega poročila za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško Poglavje 4 Ocena območja lokacije odlagališča		

SLEDLJIVOST

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

KRATICE IN POJMI

ARAO – Agencija za radioaktivne odpadke

ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje

CRO – Center za ravnanje za odpadki Spodnji Stari Grad

DOF – Digitalni ortofoto posnetek

DPN - Državni prostorski načrt za Odlagališče NSRAO Vrblina, Krško

EPO – Ekološko pomembno območje je območje habitatnega tipa, dela habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispeva k ohranjanju biotske raznovrstnosti.

GURS – Geodetska uprava Republike Slovenije

HE - Hidroelektrarna

IG enota – inženirsko geološka plast s podobnimi lastnostmi

KOSTAK - komunalno stavbno podjetje, ki opravlja dejavnosti lokalnih gospodarskih javnih služb in tržnih dejavnosti

MOP – Ministrstvo za okolje in prostor

M4 – geološke plasti badenijske starosti

M5-7 – geološke plasti sarmatijske do spodnje pontijske starosti

M7 – geološke plasti pontijske starosti

N, E, W, S – smeri neba: sever (N), vzhod (E), zahod (W) in jug (S)

NATO - North Atlantic Treaty Organization - Organizacija severnoatlantske pogodbe

Natura 2000 - je evropsko omrežje posebnih varstvenih območij, razglašeni v državah članicah Evropske unije z osnovnim ciljem ohraniti biotsko raznovrstnost za bodoče rodove.

NEK – Nuklearna elektrarna Krško

NSRAO – nizko-in srednjeradioaktivni odpadki

NV – Naravna vrednota je poleg redkega, dragocenega ali znamenitega naravnega pojava tudi drug vredni pojav, del žive ali nežive narave, naravno območje ali del naravnega območja, ekosistem, krajina ali oblikovana narava.

Odlagalni objekt – odlagalni silos

osnVP – osnutek Varnostnega poročila za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško

pH – koncentracija oksonijevih ionov v raztopini

PISO – Prostorski informacijski sistem občin

PI,Q – geološke plasti zgornje pliocenske oziroma spodje pleistocenske starosti

RUŽV – Rudnik urana Žirovski vrh

TE – termoelektrarna

TLD – termoluminiscenčni dozimeter

URSJV – Uprava RS za jedrsko varnost,

Uredba o DPN - Uredba o državnem prostorskem načrtu za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov na lokaciji Vrbina v občini Krško, Ur.l. RS 114/2009

VGL – visokoločljiva spektrometrija gama

VIPAP – Tovarna papirja Videm Krško

VOG – globoka vrtina (od 140 do 170m)

VOP – plitva vrtina (do 30m)

VP – Varnostno poročilo za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško

VVO – Vodovarstveno območje

ZVD – Zavod za varstvo pri delu

QPMF – pretok vode ob največjih možnih poplavah

Q100 – pretok vode ob stoletnih poplavnih vodah

Q2 – geološke plasti holocenske starosti

VSEBINA

4	OCENA OBMOČJA LOKACIJE ODLAGALIŠČA.....	6
4.1	SPLOŠNO	6
4.2	REFERENČNI PODATKI O OBMOČJU LOKACIJE ODLAGALIŠČA	9
4.3	HIDROLOGIJA	22
4.3.1	POVRŠINSKA HIDROLOGIJA	22
	Potresni parametri.....	24
4.3.2	HIDROGEOLOGIJA.....	27
4.4	METEOROLOGIJA	36
4.4.1	Padavine.....	36
4.4.2	Evaporacija in evapotranspiracija	37
4.4.3	Temperatura.....	37
4.4.4	Vlažnost zraka	38
4.4.5	Vetrovi.....	38
4.4.6	Difuzija.....	39
4.4.7	Atmosferska stabilnost.....	39
4.4.8	Osončenje	40
4.4.9	Dolgoročne spremembe podnebja	40
4.5	GEOLOGIJA IN SEIZMOLOGIJA.....	41
4.5.1	Geološke lastnosti lokacije	41
4.5.2	Seizmološke lastnosti Lokacije.....	52
4.6	RADIOLOŠKE ZNAČILNOSTI OBMOČJA LOKACIJE ODLAGALIŠČA IN NIČELNO STANJE	59
4.6.1	Radiološke in geokemične lastnosti.....	59
4.6.2	Lastnosti meljev.....	60
4.6.3	Kemijska sestava in radiološke značilnosti podzemne vode.....	61
4.6.4	Ničelni monitoring radiološkega stanja na lokaciji NSRAO IN V NJENI OKOLICI.....	63
4.6.5	Kemijska sestava površinske vode.....	83
4.7	OCENA TVEGANJ, ZNAČILNIH ZA OBMOČJE LOKACIJE ODLAGALIŠČA	84
4.8	VPLIV OKOLIŠKIH OBJEKTOV NA ODLAGALIŠČE.....	85
4.8.1	Jedrska elektrarna Krško	85
4.8.2	Termoelektrarna Brestanica.....	85
4.8.3	VIPAP.....	86
4.8.4	Letališče Cerklje.....	86
4.8.5	Ostali objekti in infrastruktura	88
4.9	VPLIV NOTRANJIH DOGODKOV NA VARNOST ODLAGALIŠČA.....	89
4.10	USTREZNOST OBMOČJA LOKACIJE ODLAGALIŠČA ZA IZVAJANJE ZAŠČITE IN REŠEVANJA V PRIMERU IZREDNEGA DOGODKA	89
4.11	NADZOR DEJAVNIKOV, POVEZANIH Z OBMOČJEM LOKACIJE ODLAGALIŠČA	89
4.12	LITERATURA	91

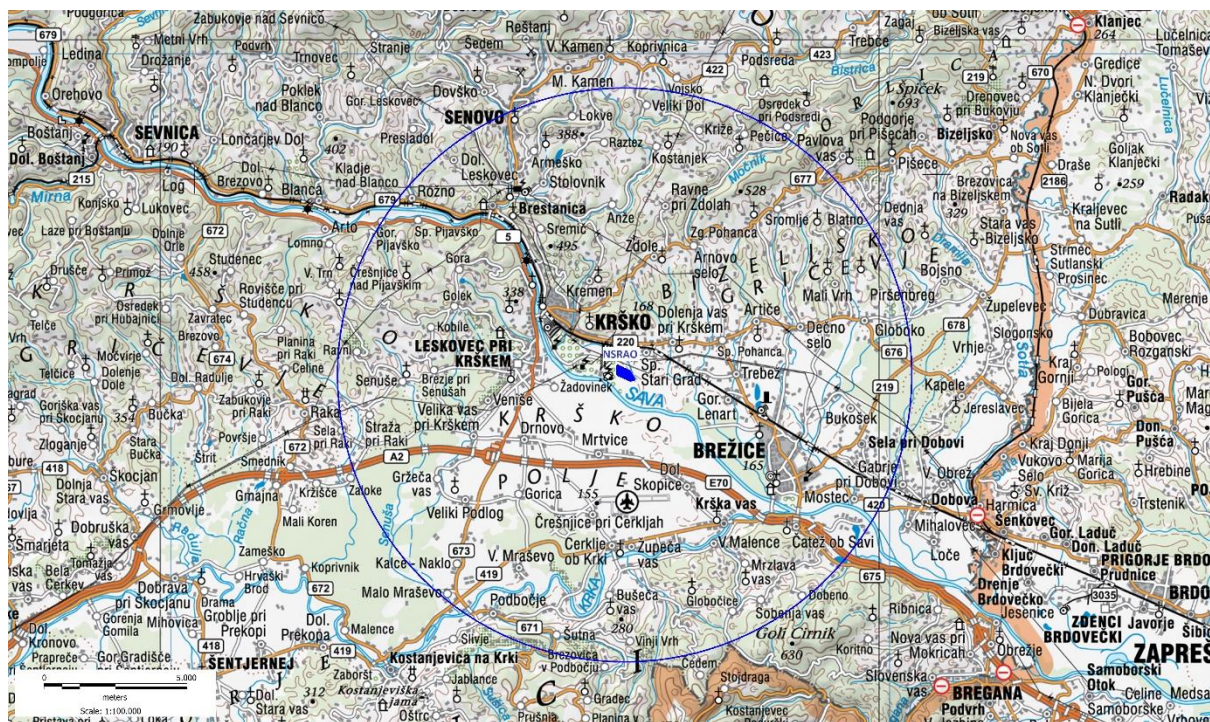
4 OCENA OBMOČJA LOKACIJE ODLAGALIŠČA

4.1 Splošno

Lokacija odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov leži na območju Krškega polja, ki je prodnata dolina, prekrita s polji in travniki. Na tem območju tečeta dve pomembni slovenski reki Sava in Krka, Krško polje pa obdajajo manjši griči. Na zahodu zaokrožuje dolino Krakovski gozd. V širšem smislu govorimo o kotlini, ki jo na severu omejuje Posavsko hribovje, na jugu Gorjanci, na zahodu Kočevski rog in Suha krajina, na vzhodu pa se odpira proti Hrvaškemu Zagorju. Gričevnati predeli so prekriti z vinogradi, sadovnjaki, polji in travniki ter gozdovi listavcev. Dolinske in ravninske predele izven območja Krškega polja prekrivajo travniki, mokrišča in gozdovi listavcev, polja pa le v podrejenem obsegu. Poselitev gričevnatih predelov Krške kotline je razpršena, z majhnimi strnjenimi vaškimi jedri.

Lokacija Vrbinja leži v občini Krško na prodnatem ravninskem območju, s posameznimi depresijami, ki so posledica nekdanjega toka reke Save. Lokaciji najbližje mesto je mesto Krško, ki je od lokacije oddaljeno 2,5 km, Brežice pa so oddaljene 5 km (slike 4-1 do 4-4). Od meje s sosednjo državo Hrvaško je lokacija oddaljena nekaj več kot 12 km. Približno 300 m od zahodnega roba lokacije se nahaja Nuklearna elektrarna Krško, približno 400 m severovzhodno od lokacije leži naselje Spodnji Stari Grad. Ravninsko območje na južni strani lokacije omejuje struga reke Save, ki je na najbližji točki oddaljena okoli 650 m od lokacije odlagališča. Na severu se ravnina izteče proti območju hriba Libna. Lokacijo na vzhodu omejuje lokalna cesta, ki iz območja naselja Vrbine vodi v smeri jugovzhoda, proti obrežju Save. Lokacija odlagališča NSRAO se nahaja na nadmorski višini med 151,69 m in 153,44 m. Širše območje lokacije je v kmetijski rabi in plansko opredeljeno kot najboljše kmetijsko zemljišče. Na sami lokaciji so urejene njive, na skrajnem zahodnem robu lokacije pa je urejen plantažni sadovnjak.

Na ožji lokaciji ni naravnih vrednot, zavarovanih območij ali območij pomembnih za biotsko raznovrstnost. Na lokaciji tudi ni evidentiranih enot kulturne dediščine in ni zavarovanih arheoloških območij. V bližini lokacije je Center za ravnanje z odpadki (CRO) Spodnji Stari Grad. Zemljišče leži tik ob Vrbinski cesti [1].



Slika 4-1: Širše območje lokacije za odlagališča NSRAO. Prikazan je tudi radij 10km oddaljenosti od odlagališča (podlaga DTK 25: GURS, 2016).

Na sliki 4-1. je prikazan radij oddaljenosti 10km od središča odlagališča NSRAO, ki ima koordinate $x = 88324.87$, $y = 541158,13$



Slika 4-2: Lega lokacije za odlagališča NSRAO - relief (vir: Geopedia, 2014)



Slika 4-3: Lokacija za gradnjo odlagališča NSRAO (območje odlagališča v modrem) - ortofoto posnetek širšega območja (Vir: PISO, 2019).



Slika 4-4: Lokacija za gradnjo odlagališča NSRAO v modrem - ortofoto posnetek (Vir: PISO, 2019).

Ocena tveganj na območju lokacije odlagališča zaradi zunanjih dogodkov človekovega ali naravnega izvora, verjetnost pojavljanja zunanjih dogodkov in ocena vplivov povezanih z območjem lokacije odlagališča je podana v poglavju 7 tega poročila. Okoljski vplivi odlagališča NSRAO in informacije o spremljanju parametrov povezanih z območjem lokacije odlagališča so obravnavani v poglavjih 7 in 15 tega poročila. Lastnosti lokacije in potencialne scenarije sprememb lastnosti lokacije so bile upoštevane v varnostnih analizah. Projekt za gradbeno dovoljenje odlagališča pa te lastnosti upošteva.

Negotovosti so bile obravnavane v okviru določanja posameznih lastnosti lokacije.

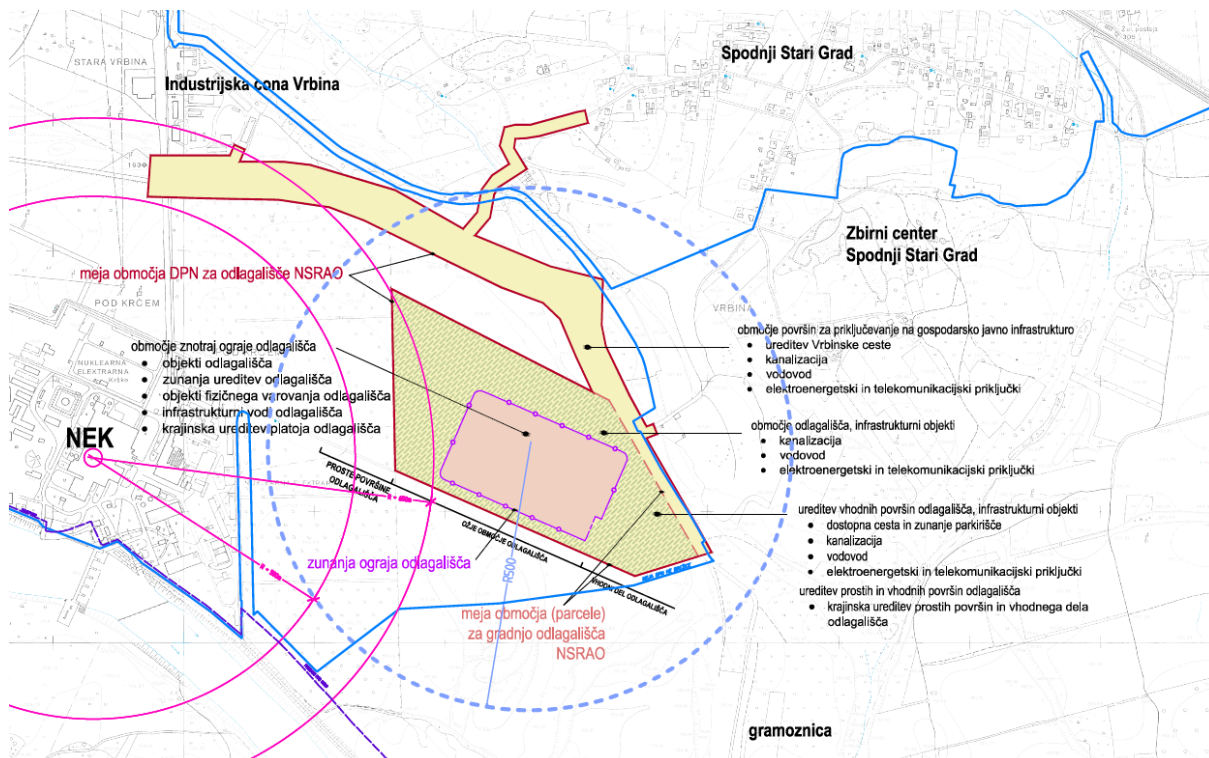
4.2 Referenčni podatki o območju lokacije odlagališča

Za gradnjo odlagališča NSRAO in pripadajočih infrastrukturnih objektov so predvidena naslednja zemljišča, ki so podana v tabeli 4-1.

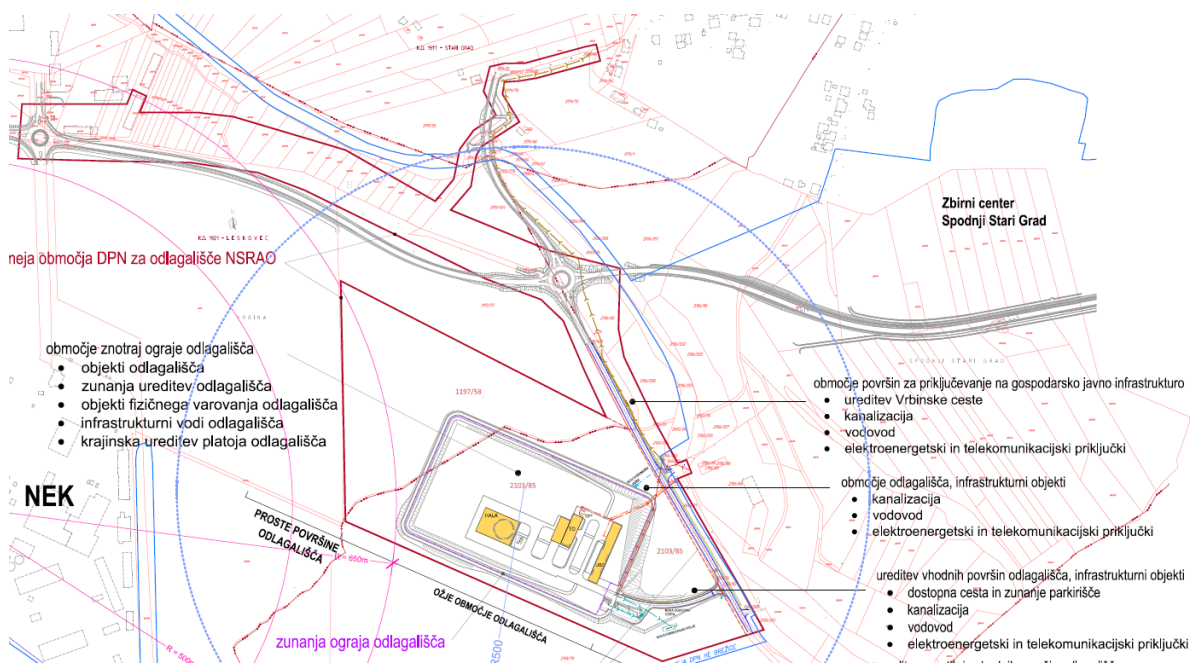
Tabela 4-1: Seznam parcel na katerih so predvideni posamezni posegi za odlagališče NSRAO.

	k.o. Drnovo (1320)	k.o. Leskovec (1321)	k.o. Stari Grad (1317)
OBJEKTI ODLAGALIŠČA			
objekti odlagališča	2103/85	1197/58	
INFRASTRUKTURNI OBJEKTI			
Vrbinska cesta (del javne poti JP 693631 – Sanitarna deponija in del ne kategorizirane javne ceste)	2106/96, 2106/105, 2106/103, 2106/98, 2103/93, 2645/15, 2645/20, 2103/92, 2645/17, 2106/99, 2106/100, 2103/89	1197/438	
Dostopna cesta	2103/85, 2103/89, 2103/92		
Parkirišče	2103/85		
Vodovodni priključek	2103/85, 2103/89		
Obstoječ vodovod – rekonstrukcija	2103/89, 2103/92, 2103/93, 2103/91, 2645/17, 2106/100, 2106/99	1197/438	
Električni priključek	2103/85, 2103/89, 2103/92, 2103/91		
Javna razsvetljava Vrbinske ceste	2106/96, 2106/105, 2103/89, 2103/92, 2103/91, 2645/17, 2106/99	1197/438	
Telekomunikacijski priključek	2103/85, 2103/89, 2103/92, 2103/91		
Kanalizacija za odvajanje komunalne odpadne vode	2103/85, 2103/89, 2103/92, 2103/93, 2106/98, 2645/15, 2645/20, 2645/19, 2106/96, 2106/95, 2106/2, 2106/106, 2106/107, 2106/277	1197/438, 1197/401	1179/71, 1179/70, 1179/68, 1179/64.
črpališče	2103/93, 2103/92, 2103/89		
Kanalizacija za odvajanje padavinske vode s ponikovalnim poljem	2103/89, 2103/85		

Odlagališče NSRAO bo zgrajeno na platoju, ki bo imel končno višino 155,20 m nad morsk gladino [1].



Slika 4-5: Prikaz območja DPN za odlagališče NSRAO. Prikazan moder krog okoli odlagališča predstavlja radij 500m. Dodana sta tudi kroga 500m in 650m od reaktorja NEK [2].



Slika 4-6: Prikaz območja DPN za odlagališče NSRAO na katastrski podlagi z načrtovanimi cestnimi povezavami [1]. Prikazan moder krog okoli odlagališča predstavlja radij 500 m.

Obstoječi posegi na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO so:

- območje energetske infrastrukture: NEK – Nuklearna elektrarna Krško z jezom na Savi,
- industrijska cona Vrblina
- na levem bregu Save leži elektrificirana železniška proga Zidani Most – Dobova, ter naselja Spodnji stari Grad in Stari Grad,
- zaprto odlagališče komunalnih odpadkov in zbirni center Spodnji Stari Grad,
- center varne in športne vožnje Raceland – jugovzhodno od NEK (oddaljen več kot 1,5 km od lokacije posega).

Približno 600 m južno od lokacije odlagališča NSRAO je zgrajen akumulacijski bazen HE Brežice.

Na področju prometne infrastrukture se je po sprejemu uredbe o DPN za odlagališče NSRAO začel projekt ureditve nove trase regionalne ceste od Krškega do Brežic, ki je predmet ločenega državnega prostorskega načrta. Oba državna prostorska načrta se v območju cestne povezave do NEK prekrivata.

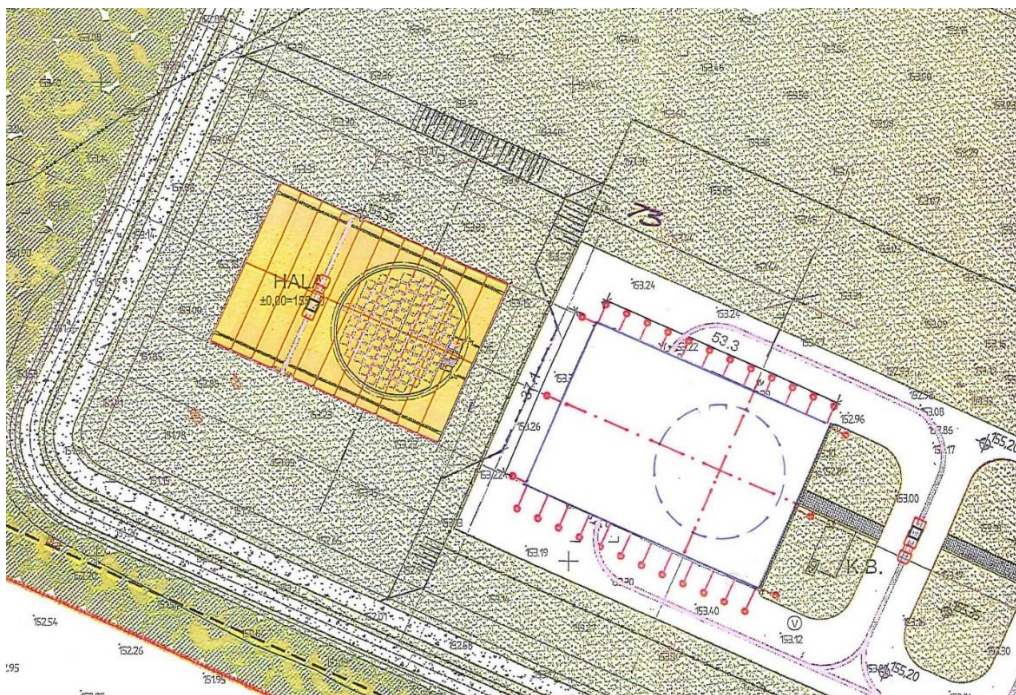
Na načrtovano novo traso regionalne ceste se bo tako priključila rekonstruirana lokalna cesta iz območja odlagališča NSRAO na južni krak krožnega križišča Spodnji Stari Grad 1 (slika 4-6). Po predlogu DPN za novo regionalno cestno povezavo od Krškega do Brežic je predvidena tudi izgradnja krožnega križišča pri NEK. Omenjeni del trase bo v uporabi pri prevozu že pripravljenih radioaktivnih odpadkov za trajno odložitev na odlagališču NSRAO, pri čemer pa po novem predlogu nosilec posega omenjene izgradnje tega dela ceste, skupaj z rondojem, ni več ARAO [1].

Na vzhodni strani območja DPN za odlagališče NSRAO so načrtovane ureditve z DPN za HE Brežice, za katerega je sprejeta Uredba o DPN, Ur. l. RS, št. 50/12.

Trasa transporta radioaktivnih odpadkov bo potekala preko novega priključka (dostopne ceste), ki bo zagotavljala prevoznost tovornih vozil s priklopniki. Dostopna cesta je načrtovana od rekonstruirane lokalne ceste do ograje za odlagališče NSRAO. Pripravljalet odpadkov za odlaganje bo odgovoren za njihov transport na odlagališče NSRAO.

Opisi pomembnih objektov v bližini lokacije odlagališča NSRAO se nahajajo v točki 4.8. tega poročila.

Predvidena je izgradnja enega silosa na skrajnem jugovzhodnem robu odlagališča. Pri tem ostaja razpoložljivi prostorski in odlagalni potencial lokacije, ki je privzet v Uredbi o DPN in v varnostnih analizah, neizkoriščen. Kot smiselna razvojna možnost se zato izrazito kaže gradnja dodatnega odlagalnega silosa. Potencialna lokacija za izgradnjo drugega silosa je prikazana na sliki 4-7. Z gradnjo drugega silosa bi bile zagotovljene odlagalne zmogljivosti za vse NSRAO iz NEK.



Slika 4-7: Prikaz drugega silosa (območje obarvano z rumeno).

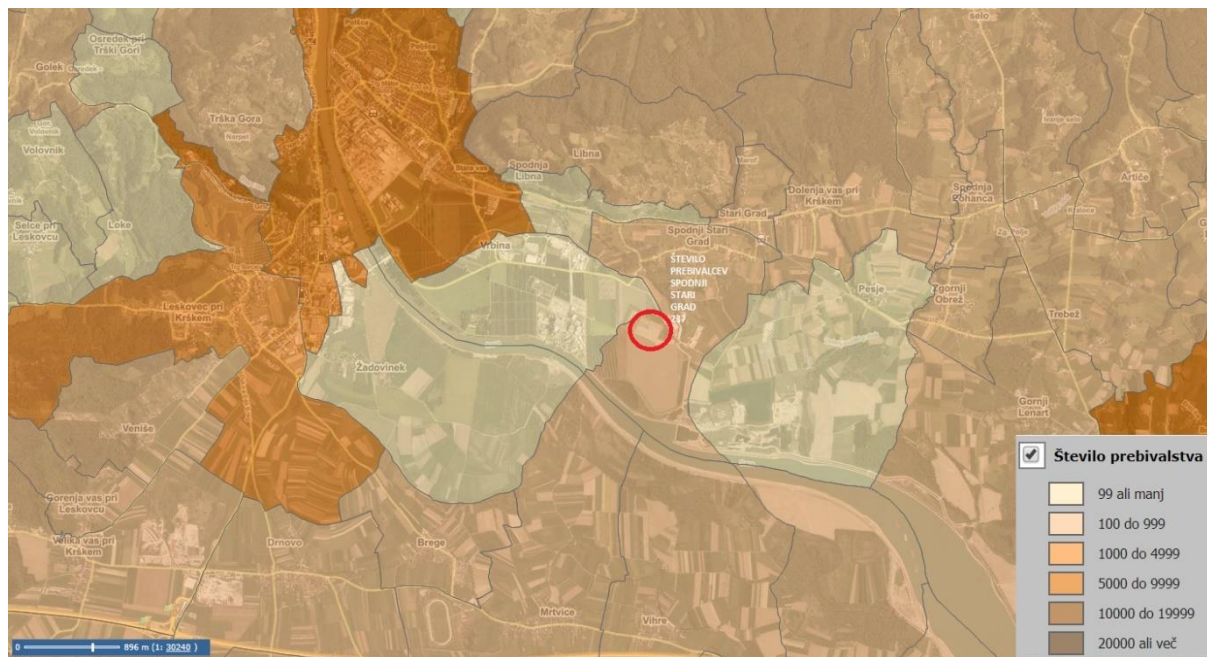
V okolici lokacije odlagališča se bodo zemljišča še vedno uporabljala za potrebe kmetijskih dejavnosti (poljedelstvo in sadjarstvo).

V poglavju 4.3.2. so prikazane lokacije hidroloških raziskav in vodnjakov. Podrobno so opisane tudi lastnosti podzemnih vod na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO.

Lokacija odlagališča se nahaja v Občini Krško, kjer po zadnjih podatkih (feb. 2016) živi 25.885 prebivalcev [3]. Območje lokacije odlagališča NSRAO ni poseljeno. Na lokaciji ravno tako ni dnevno zaposlenih, so pa na območju občasno prisotni obdelovalci kmetijskih površin. Na lokaciji izvajajo dela s kmetijskimi stroji in to nekajkrat letno, dva do trije zaposleni v podjetju Farme Ihan - KPM, ki obdeluje te površine. Na širšem območju lokacije odlagališča obstaja vzorec razpršene pozidave s stanovanjskimi objekti in kmetijami. Najbližji naselji sta Spodnji Stari Grad, ki leži severovzhodno ter Vrblina, ki leži severozahodno od lokacije in je oddaljena ca 1.200 m od lokacije. Najbližje mesto je Krško, ki je od lokacije oddaljeno 2,5 km, Brežice pa 5 km. Najbližje večje mesto je mesto Zagreb, ki se nahaja v sosednji državi Hrvaški, ima približno 790.000 prebivalcev [4] in je 38 km jugovzhodno od lokacije odlagališča.

Leta 2011 je na območju Spodnjega Posavja živel 70.167 prebivalcev, kar znaša dobra dva odstotka več kot leta 2002. Znotraj obravnavanega območja je imela leta 2011 največ prebivalcev občina Krško (25.867), sledita občini Brežice in Sevnica, najmanj občanov ima občina Kostanjevica na Krki (2.404). Primerjalno, glede na leto 2002, lahko ugotovimo trend nizke rasti prebivalstva, značilen za Slovenijo in Spodnje Posavje, tudi v občini Brežice; nasprotno se je število prebivalcev občine Sevnica v zadnjih devetih letih znižalo za slab odstotek. Pri analizi trendov rasti prebivalstva ostalih dveh obravnavanih občin je potrebno upoštevati, da se je 1. 3. 2006 iz občine Krško izločila sedanja občina Kostanjevica na Krki. Zaradi tega se je dejansko število prebivalcev občine Krško med letoma 2002 in 2011 zmanjšalo za okrog 2.400 ljudi. Če se omejimo zgolj na prebivalce tistega dela občine Krško, ki jo sestavlja danes, pa lahko ugotovimo med omenjenima letoma nizko rast prebivalstva,

medtem ko se je na območju današnje občine Kostanjevica na Krki število prebivalcev zmanjšalo za slab odstotek. Tako je za območje celotnega Spodnjega Posavja ter občini Brežice in Krško, kot tudi za Slovenijo, med letoma 2002 in 2011 značilna počasna rast prebivalstva, medtem ko je v občinah Kostanjevica na Krki in Sevnica število prebivalcev nekoliko upadlo [5].



Slika 4-8: Naselja v bližini lokacije odlagališča NSRAO v rdečem (vir: SURS, 2019)

V naselju Spodnji Stari Grad (slika 4-8), ki je najbližje naselje lokaciji odlagališča NSRAO, po podatkih Statističnega Urada RS živi 247 prebivalcev. Od tega 42 v starostni skupini 0-14 let, 164 v starostni skupini 15-64 let in 41 v starostni skupini nad 65 let. V naselju Vrbina po uradnih podatkih živi samo še 1 prebivalec v starostni skupini nad 65 let, na območju naselja Spodnja Libna pa 73 prebivalcev [6].

Opis obstoječe in načrtovane industrijske, energetske in druge infrastrukture na območju lokacije odlagališča je podan v poglavju 4.8.

Tabela 4-2: Seznam šol, bolnic in drugih večjih javnih institucij na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO

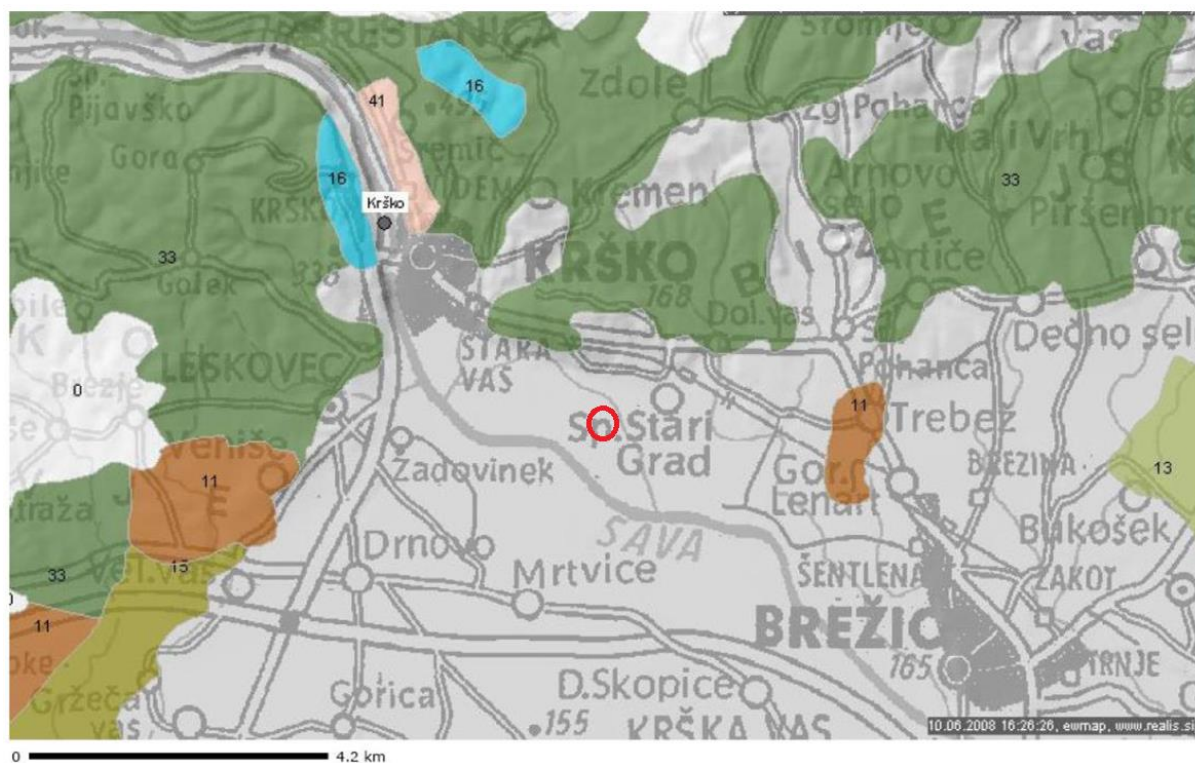
		Oddaljenost (km)	Smer
Knjižnice			
	Občinska matična knjižnica Brežice	6,5	VJV
	Valvazorjeva knjižnica Krško	4,5	SZ
Šole			
	Osnovna šola Jurij Dalmatin Krško	3,5	SZ
	Posebna osnovna šola Krško	3,5	SZ
	Šolski center Krško	4,5	SZ
	Osnovna šola Adam Bohorič Brestanica	7,5	SSZ
	Osnovna šola Veliki Podlog	7,0	JZ
	Osnovna šola Podbočje	10,0	JJZ

	Osnovna šola Bratov Riharjev - Brežice	6,5	VJV
	Šolski center Brežice	6,5	VJV
	Gimnazija Brežice	6,5	VJV
	Osnovna šola Mrzlava	7,5	JV
	Osnovna šola Bučča Vas	8,0	J
	Osnovna šola Cerklje ob Krki	6,5	J
	Osnovna šola Globoko	9,0	V
	Osnovna šola Artiče	5,0	V
Bolnišnice			
	Splošna bolnišnica Brežice	6,5	VJV
Zdravstveni domovi			
	Zdravstveni dom Krško	3,0	Z
	Zdravstveni dom Brestanica	7,5	SSZ
	Zdravstveni dom Brežice	6,5	VJV
	Zdravstveni dom Cerklje	6,0	J

Opis osnovnih ekoloških lastnosti območja

Glede na to, da se lokacija nahaja na območju intenzivnega poljedelstva, ni pričakovati prisotnost ogroženih zavarovanih rastlinskih vrst, ki bi jih bilo treba varovati s posebnimi varstvenimi režimi. Tudi v pasu 500 m okoli lokacije ni floristično pomembnejših območij. Na manjših površinah so sicer prisotni suhi in polsuhi travniki, ki pa se v floristično bogati obliki pojavljajo izključno na nasprotnem, to je desnem bregu reke Save [7].

Na Krško - Brežiškem polju je avtohtona vegetacija gabrovje s hrasti. Nekdanji gabrovi gozdovi so skoraj izkrčeni. Gozd danes zajema manj kot 5 % površine Krškega polja, travniki slabo petino, njive pa skoraj tri četrtine površin. V okolici Brežic so zasajene plantaže topolov. Ob reki se pojavlja združba vrbovja, ki jo sestavljajo različne vrste vrb. V združbi se pojavljajo tudi jelše in topoli.



čas izpisa: 10. junij 2008 16:26:19

(c) 2004-, ZRC SAZU; viri: ZRC SAZU; MOPE GU RS (podatki so prirejeni). Za uradne informacije se obrnite na pristojne ustanove.

LEGENDA:

Topografske podlage

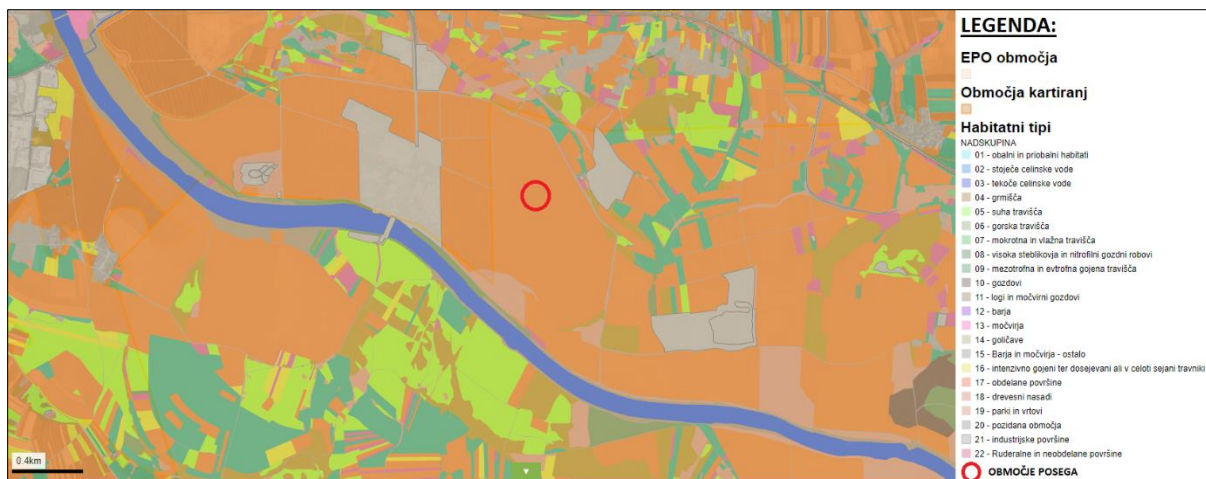
Digitalni model višin

GOZDNE ZDRUŽBE

11	Vaccinio myrtilli-Carpinetum betuli
13	Piceo abietis-Quercetum roboris
15	Pseudostellario europaeae-Carpinetum
16	Hacquetio epipactidis-Fagetum
33	Castaneo sativae-Fagetum
41	Lathyro nigri-Quercetum petraeae

Slika 4-9: Vegetacijska karta gozdnih združb na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO.

Na ožjem območju lokacije je pestrost favne izredno nizka, saj gre za intenzivno obdelovano monokulturno polje, ki je z naravnimi (reka Sava) in umetnimi ovirami (cesta, železnica z nasipi) ločeno od okolice. Na sliki 4-10 je grafični prikaz habitatov.

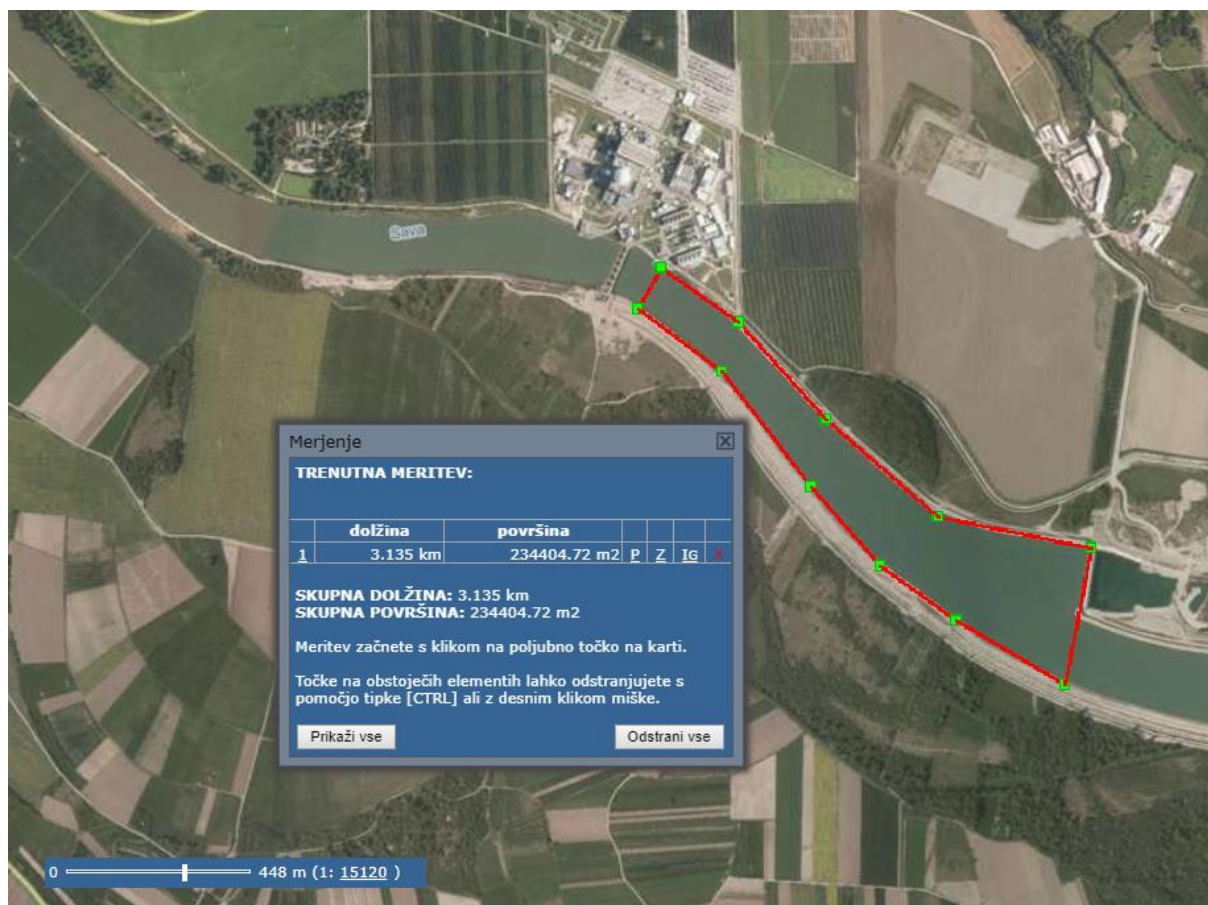


Slika 4-10: Grafični prikaz habitatov (Zavod RS za varstvo narave, *Habitatni tipi*, [kartografsko gradivo], spletni vir: http://www.zrsvn.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=68&id_informacija=486, citirano 24.01.2019).

Krška kotlina predstavlja pester življenjski prostor za številne živalske skupine in nudi pomemben habitat za številne prostoživeče vrste vretenčarjev in nevretenčarjev. Od nevretenčarjev je največ znanega o metuljih in hroščih. Med vretenčarji so zlasti številne vrste ptic in dvoživk, prisotne pa so tudi mnoge vrste sesalcev in rib. Na območju Krške kotline je bilo tako evidentirano 30 vrst sesalcev. Na obravnavanem območju je pestrost vrst velikih sesalcev zaradi migracijskih preprek najverjetneje precej skromna. Domnevamo, da so na obravnavanem območju vsaj občasno prisotni beloprsi jež (*Erinaceus concolor*), poljski zajec (*Lepus europaeus*) in kune. Na ožjem območju plana se pričakuje prisotnost skromnih populacij različnih vrst miši, voluharic in krta (*Talpa europaea*).

Na območju plana najverjetneje ni gnezdilcev, se pa določene vrste tam redno pojavljajo.

V reki Savi, ki se nahaja južno od lokacije odlagališča NSRAO, živi potencialno 42 različnih vrst rib. Območje na reki Savi v velikosti ca 30 ha, ki teče mimo odlagališča, je pod posebnim režimom zaradi kontroliranega območja NEK, kjer je ribolov prepovedan (Slika 4-11). Po zaprtju NEK in odstranitvi prepovedi ribolova v okolici NEK bo vpliv odlagališča na biosfero ostal minimalen (poglavje 7 osnVP), tako kot med samim obratovanjem.



Slika 4-11: Območje prepovedanega ribolova (rdeče).

Na Krškem polju se pojavlja več kot 20 vrst kačjih pastirjev, v gramoznici Stari Grad pa je bilo popisanih le manjše število vrst (7), ki se potencialno lahko tudi občasno pojavljajo na ožji obravnavani lokaciji. Od nevretenčarjev sta bili na širšem območju popisani še dve vrsti deževnikov (*Lumbricus terrestris*, *Octolasion tyrtaeum*), ki sta najverjetneje prisotni tudi na ožji lokaciji odlagališča, in dve vrsti polžev (*Pagodulina sparsa*, *Cochlodina commutata*), katerih prisotnosti na območju plana ne pričakujemo. Zaradi intenzivnega načina kmetovanja z uporabo fitofarmaceutskih sredstev je pričakovana omejena prisotnost nevretenčarskih vrst (majhne populacije pogostejših vrst). Redkost žuželk pogojuje tudi redkost žužkojedih vrst vretenčarjev na tem območju. Območje lokacije odlagališča NSRAO ne predstavlja ugodnega bivalnega in prehranjevalnega habitata za dvoživke. Obstaja domneva, da se na ožjem obravnavanem območju občasno pojavljajo posamezni osebki razmeroma pogostih vrst, sekulja in navadna krastača. Prav tako to območje ne predstavlja ugodnega habitata za plazilce - občasno se lahko pojavljata le slepec in pozidna kuščarica. Območje ni namenjeno živinoreji, je pa namenjeno intenzivni pridelavi krme [7].

Vretenčarji so pomemben faktor za ravnovesje biocenozo. Vpleteni so v številne prehranjevalne verige, med njimi sesalci v teh verigah predstavljajo tako plen kot plenilca. Z vidika gradnje odlagališča NSRAO je pomembno oceniti določene prehranjevalne verige, na katere bi odlagališče lahko imelo vpliv. Te prehranjevalne verige so povezava med rastlinjem (travo), pašnimi živalmi in človekom. Druga možnost prenosa radionuklidov po prehranjevalni verigi je tudi preko vode (bentos – ribe – človek). Ničelni monitoring v poglavju 4.6.4

podrobneje podaja vsebnost radionuklidov v krmi, pridelanih povrtninah, poljščinah in sadju ter jajcih in mesu.

Okolje in prisotnost pomembnih materialnih dobrin

Kulturna dediščina so viri in dokazi človeške zgodovine in kulture, ne glede na njihov izvor, razvoj in ohranjenost (snovna, materialna dediščina) ter s tem povezane kulturne dobrine (nesnovna, nematerialna dediščina). Zaradi njihove kulturne, znanstvene in splošno človeške vrednosti sta varstvo in ohranjanje kulturne dediščine v državnem interesu.

Glede na 26. člen Zakona o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1, Uradni list št. 16/08, 123/08, 8/11, 90/12, 111/13, 32/16) pa velja opozorilo, da je ob vseh posegih v zemeljske plasti obvezujoč splošni arheološki varstveni režim, ki najditelja/lastnika zemljišča/investitorja/odgovornega vodjo del ob odkritju dediščine zavezuje, da najdbo zavaruje nepoškodovano na mestu odkritja in o najdbi takoj obvesti pristojno enoto Zavoda za varstvo kulturne dediščine, ki situacijo dokumentira v skladu z določili arheološke stroke.

Na območju posega ni evidentiranih enot kulturne dediščine in ni zavarovanih arheoloških območij.

Vrste in namembnosti zemljišč na območju

Območje lokacije odlagališča NSRAO je delno še vedno v kmetijski rabi in je bilo do sprejema Uredbe o DPN za odlagališče NSRAO v planskih aktih občine Krško opredeljeno kot najboljše kmetijsko zemljišče, t.j. kot območje agrooperacij (A3). Na delu lokacije odlagališča NSRAO in v njeni okolici so urejene njive (monokultura žita), v neposredni bližini pa je urejen plantažni sadovnjak. Glede na kategorizacijo namenske rabe je večina kompleksa uvrščena v območje ostale infrastrukture (T,E,O), le del pa v območje zelenih površin (vir PISO, 2019).



Slika 4-12: Prikaz namenske rabe na območju posega (območje posega v rdečem), (Vir: PISO, 2019)

Dejanska raba na območju predvidenega posega

Na območju lokacije za odlagališče NSRAO se nahajajo tri različne kategorije zemljišč v dejanski rabi: njive in vrtovi (šifra 1100), pozidano in sorodno zemljišče (šifra 3000) in neobdelano kmetijsko zemljišče (šifra 1600). Zahodno območje plana meji na intenzivne sadovnjake (šifra 1221) (Vir: Dejanska raba kmetijskih zemljišč, PISO, 2019).



Slika 4-13: Dejanska raba na območju lokacije odlagališča (v rdečem) (Vir: PISO, 2019)

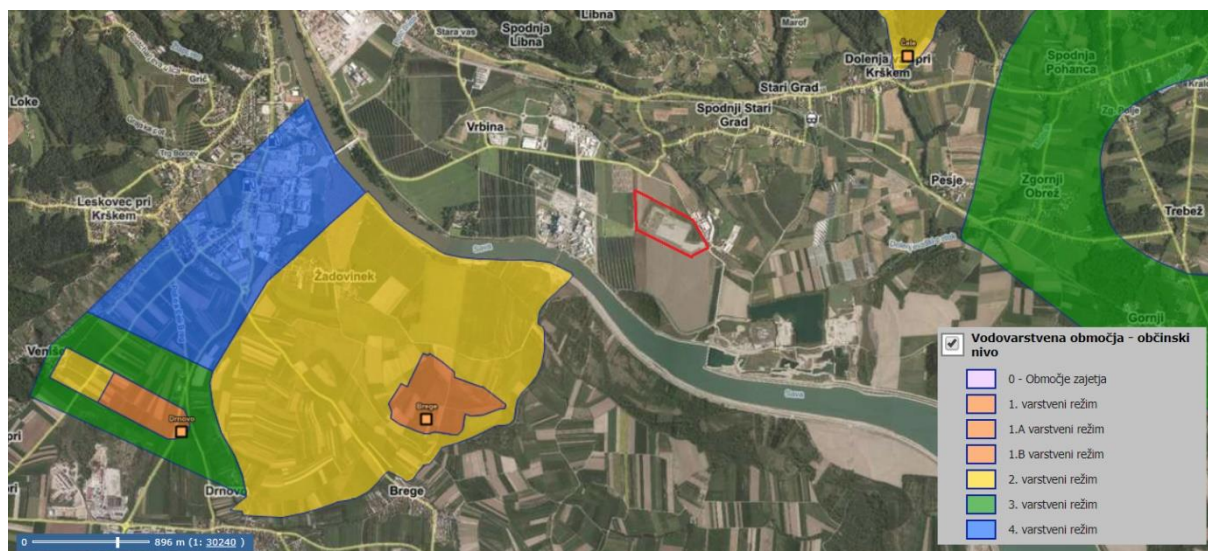
Območja s posebnim varnostnim režimom

Območje posega ne sega v območje Natura 2000 in ne na zavarovana območja. Na obravnavanem območju ni naravnih vrednot ali območij, pomembnih za biotsko raznovrstnost. Je pa v bližini lokacije posega območje Natura 2000 (pSCI, SAC Vrbina), Ekološko pomembno območje (EPO) Sava od Radeč do državne meje (ID=63700), jugovzhodno od območja pa je tudi naravna vrednota (NV) lokalnega pomena Stari Grad-gramoznica (ID=7861).

Posebno ohranitveno območje z oznako pSCI, SAC Vrbina (SI3000234) je od območja, predvidenega za izgradnjo odlagališča NSRAO, v najbližji točki oddaljeno približno 950 m. Sovpada oziroma se prekriva s floristično najbogatejšim delom ekološko pomembnega območja Sava od Radeč do državne meje.

Na obravnavani lokaciji posega ni vodovarstvenih pasov virov pitne vode.

Na območju posega ni posebej predpisanih omejitev glede vodnega režima podzemnih vod, ni vodnih virov, ki bi se izkoriščali za vodooskrbo; najbližji vodni vir, za katerega so opredeljena vodovarstvena območja (VVO), se nahaja zahodno od reke Save na območju Žadovinka (slika 4-14).



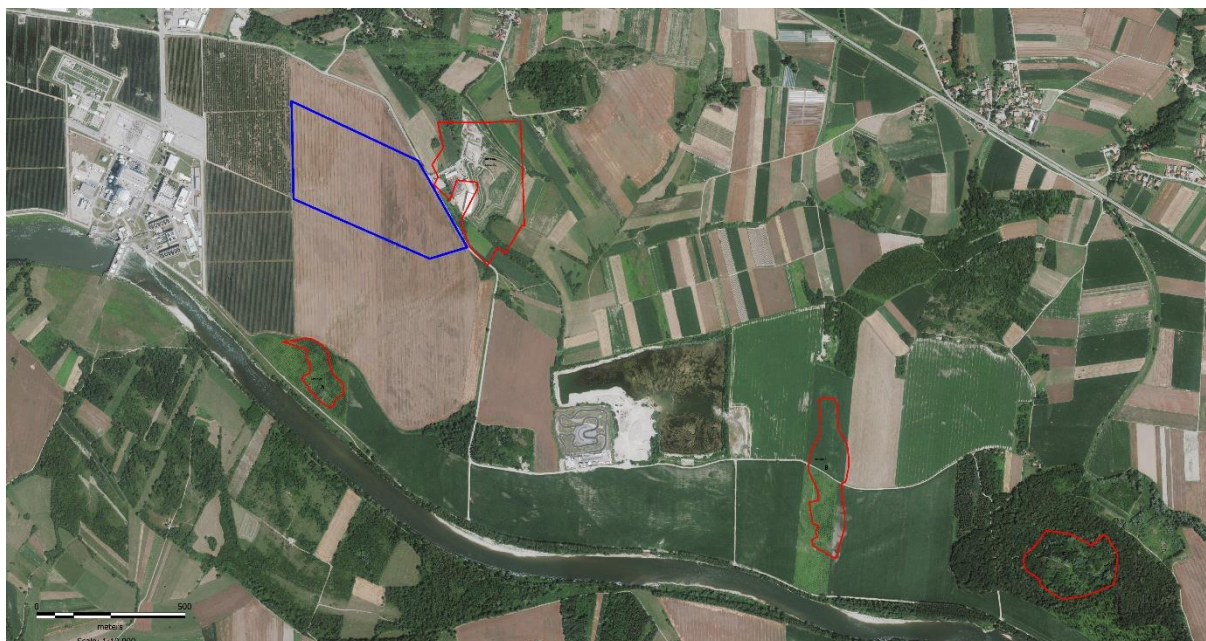
Slika 4-14: Vodovarstvena območja v okolici območja posega (v rdečem) Vir: PISO, 2019)

Na ožjem območju plana (v 500 m krogu) se v skladu z veljavno plansko rabo nahajajo najboljša kmetijska zemljišča. V planu občine Krško so s programom usposabljanja kmetijskih zemljišč dopustne nižinske melioracije – An3, Stari grad in komasacije K11 ter namakanje N1, Stara vas. Na širšem območju plana (v 1000-metrskem krogu) se prav tako nahajajo najboljša kmetijska zemljišča. Krško – Brežiško polje sodi med prednostna območja za kmetijstvo (Odlok o strategiji prostorskega razvoja Slovenije (OdSPRS), Ur.l.RS, št. 74/2004).

Na območju posega ni varovalnih gozdov niti gozdnih rezervatov, opredeljenih po Uredbi o varovalnih gozdovih in gozdovih s posebnim namenom, Ur.l. RS, št. 88/05, 56/07, 29/09, 91/10, 1/13.

Na območju posega se ne izkoriščajo mineralne surovine. Jugovzhodno od lokacije posega se nahaja gramoznica Stari Grad, kjer poteka eksploatacija proda.

V okviru raziskav geo in hidrosfere so bile evidentirane tudi tri deponije elektrofilitrskega pepela, ki se nahajajo južno in jugovzhodno od lokacije NSRAO (slika 4-15).



Slika 4-15: Lokacije deponij elektrofilskega pepela. Vzhodno od lokacije odlagališča NSRAO se nahaja komunalna deponija (merilo 1:10.000)

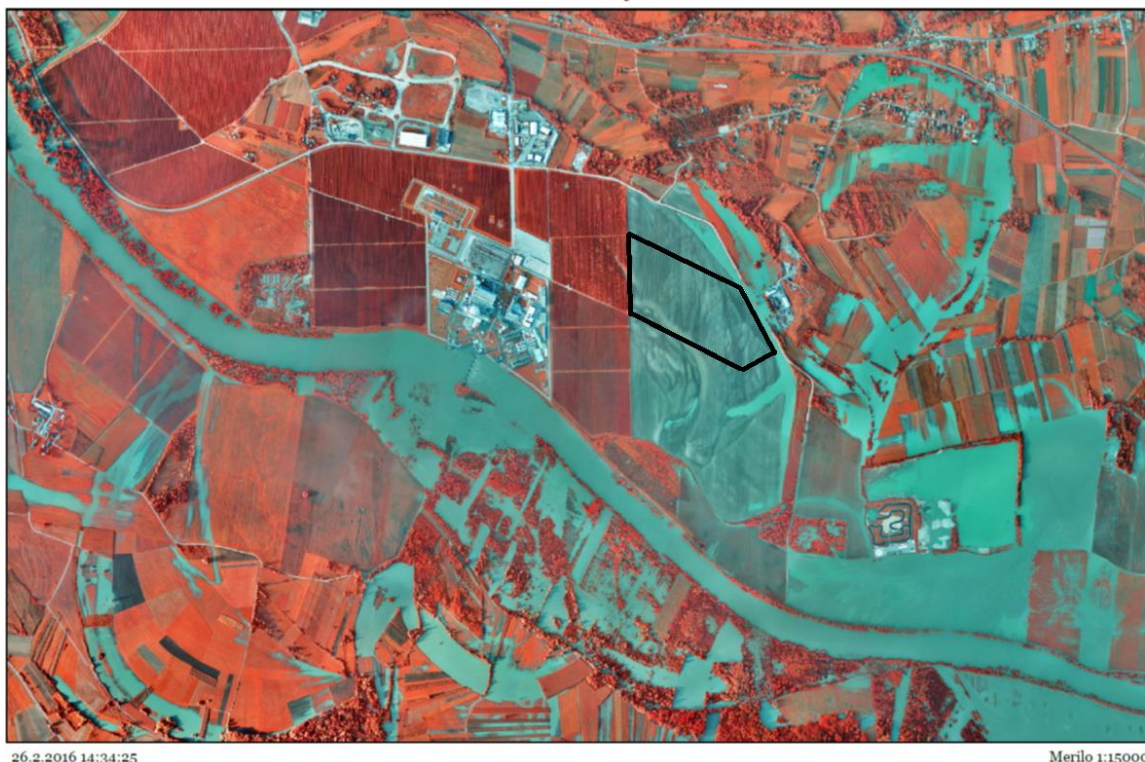
4.3 Hidrologija

4.3.1 POVRŠINSKA HIDROLOGIJA

Zagotavljanje poplavne varnosti je pomemben faktor pri zagotavljanju nemotenega in varnega obratovanja odlagališča NSRAO Vrbina Krško. V preteklosti so se že za potrebe Nuklearne elektrarne Krško in hidroelektrarne na spodnji Savi izvajale številne študije in analize poplavnosti širšega območja, ki je vključevalo tudi lokacijo odlagališča NSRAO.

Najvišji poplavni pretoki so se septembra 2010 zgodili na Ljubljanskem barju, v Vipavski dolini, na povodju Krke in v spodnjem toku Save. Na teh območjih so poplave presegle podobno obsežne iz leta 1933. Po velikosti poplav srednjega toka Save in porečja Savinje še vedno izstopa leto 1990 [8]. Uradni podatki za vodomerno postajo Čatež, ki se nahaja dolvodno od odlagališča NSRAO in po sotočju Save in Krke kažejo, da je pretok Save na tej vodomerni postaji pri poplavah leta 1990 znašal $3.810 \text{ m}^3/\text{s}$ in leta 2010 zelo primerljivih $3.802 \text{ m}^3/\text{s}$. Poplavne karte na območju odlagališča NSRAO, ki jih je izdelal ARSO in so javno dostopne pa kažejo, da je bil obseg poplav na Vrbini večji leta 2010 kot leta 1990. Na sliki 4-16 je prikazan obseg poplav na širšem območju odlagališča NSRAO iz septembra leta 2010, ko je bil obseg poplav na tem območju največji.

Atlas okolja



Slika 4-16: Obsežnost poplav na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO (v črnem) iz septembra leta 2010 (Vir: Agencija RS za okolje: Atlas okolja, feb 2016) [9].

Od zadnjih poplav, ki so dosegle lokacijo odlagališča NSRAO se je zaradi umeščanja novih objektov in nadgradnje protipoplavne zaščite NEK, poplavna varnost tega območja bistveno izboljšala.

Za potrebe odlagališča sta bili s področja hidrologije v letu 2015 izvedeni dve ključni študiji, na podlagi katerih so bile določene končne višine platoja odlagališča in dostopnih cest.

Na podlagi študije "Hidravlična analiza vplivnega območja odlagališča NSRAO Vrbina, Krško" [10] je evidentirana poplavna varnost območja odlagališča z vidika poplavnih vod reke Save. Študija temelji na izračunih, ki so bili izvedeni s hidrodinamičnim numeričnim modelom, ki je bil predhodno umerjen, verificiran in revidiran v sklopu projekta »Izvedba hibridnih hidravličnih modelov za območje spodnje vode HE Krško, območje HE Brežice in območje HE Mokrice« (FGG, Hidroinštitut in IBE, 2011) [11]. Izvedena je bila hidravlična analiza za posamezno stanje za stalni tok (konzervativna predpostavka vseh dosedanjih izračunov) in sicer za scenarije:

- $Q_{10,Sava} = 2560 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Potočnica} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{Krka} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100,Sava} = 3750 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Potočnica} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{20,Krka} = 453 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{500,Sava} = 4510 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Potočnica} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{20,Krka} = 453 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{1000,Sava} = 4840 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Potočnica} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{20,Krka} = 453 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{PMF,Sava} = 7081 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Potočnica} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{Krka} = 453 \text{ m}^3/\text{s}$

Pri teh razmerah pa niso bile upoštevane zaledne vode z območja severno od železniške proge in ne lastne padavinske vode za obravnavano območje.

Pri hidravlični analizi vplivnega območja odlagališča NSRAO (slika 4-17 in slika 4-18) so upoštevani nasipi HE Brežice, ki imajo naslednje lastnosti:

Potresni parametri

Maksimalne vrednosti horizontalnih pospeškov na površini makrolokacije in na koti temeljenja (v g)

Povratna doba (let)	100	200	475	1000	DAFs _r
Osnovna kamnina	0.190	0.230	0.280	0.295	1.00
Nivo temeljenja pregrade, strojnice in prelivnih polj	0.210	0.250	0.310	0,320	1.10

Nasip:

· ki se nahaja v coni
miocenskih sedimentov
(pod aluvialnimi nanosi)

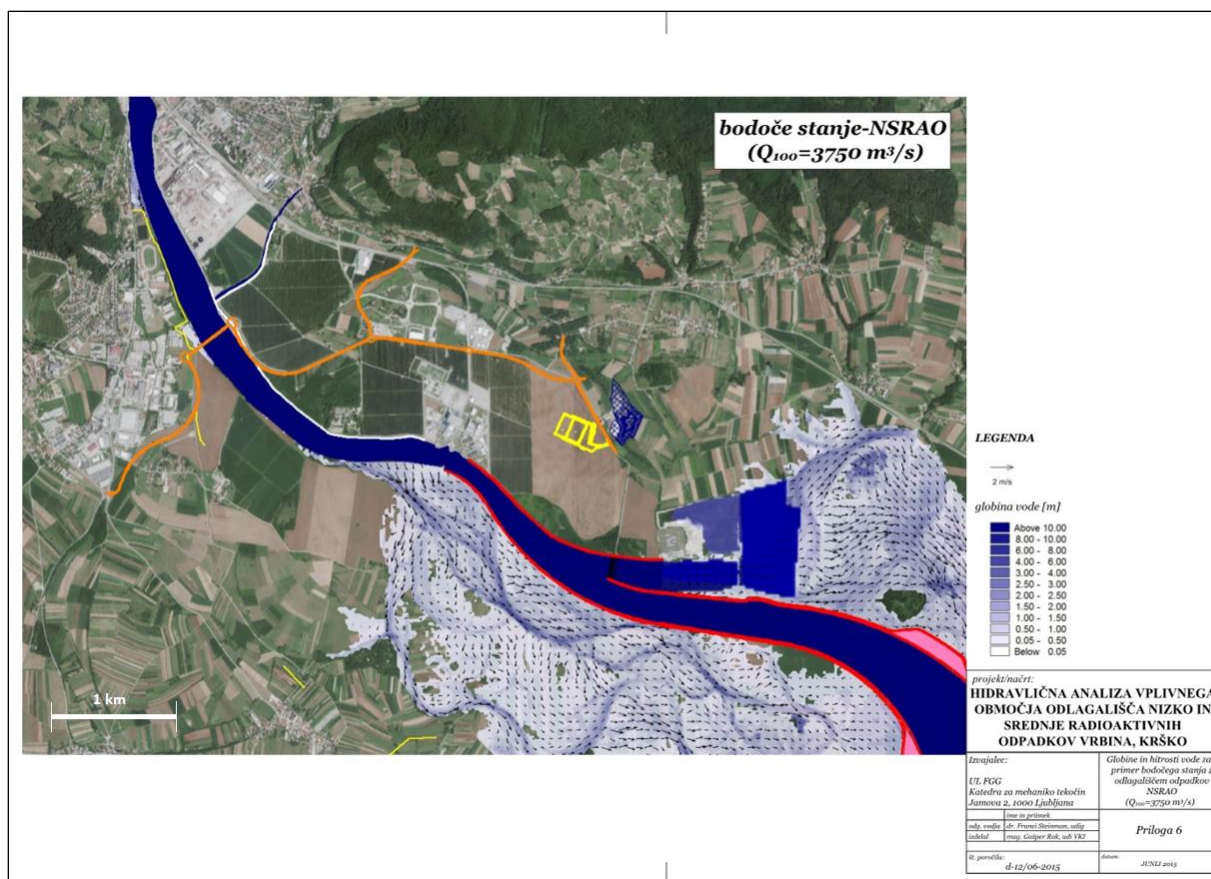
0.240	0.290	0.350	0.370	1.25
-------	-------	-------	-------	------

· ki se nahaja v coni
pliokvartarnih
sedimentov (pod
aluvialnimi nanosi)

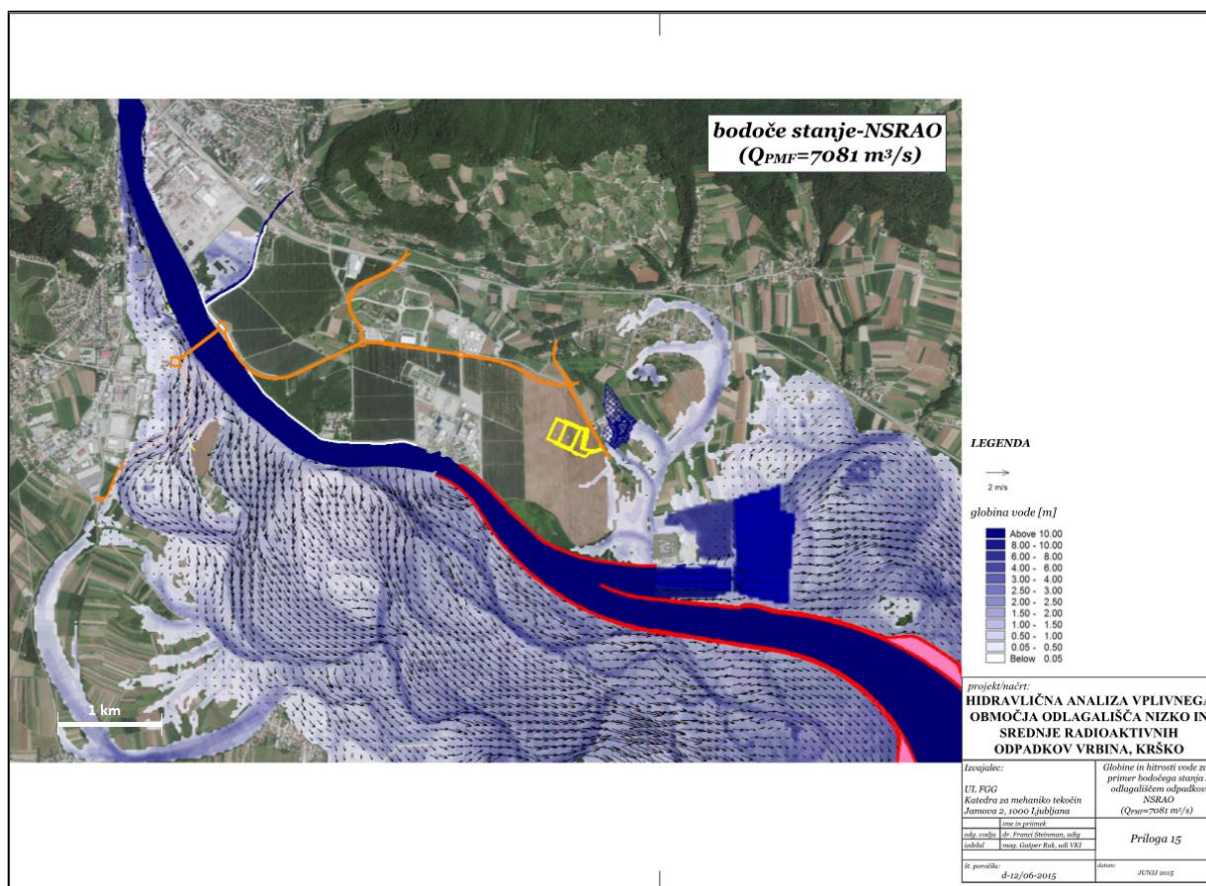
0.280	0.340	0.420	0.440	1.50
-------	-------	-------	-------	------

Vertikalna komponenta pospeškov, če ni izvedena iz raziskav, se upošteva kot 0.5-0.7 horizontalnega pospeška. Kot faktor istočasnosti se povzame priporočilo EC8, ki pravi, da se upošteva 30% vertikalnega pospeška (se pravi ob istočasnem delovanju horizontalne in vertikalne komponente).

Kriterij stabilnosti pri 1000 letni potresni obtežbi je varnostni faktor večji ali enak 1,00 za karakteristične vrednosti geomehanskih parametrov [12].



Slika 4-17: Gladine in hitrosti vode za primer bodečega stanja z odlagališčem NSRAO pri pretoku Save ob 100 letnih poplavnih vodah [10]



Slika 4-18: Gladine in hitrosti vode za primer bodočega stanja z odlagališčem NSRAO pri največjem možnem pretoku Save (PMF) [10].

V študiji "Odlagališče NSRAO Vrblina, Krško / Kote odlagališča in dostopne ceste" [13] pa je analiziran še potencialni vpliv zalednih vod na širšem območju lokacije odlagališča. Rezultati te študije kažejo, da se z odlagališčem NSRAO in drugimi objekti, ki se na tem območju umeščajo v prostor ter ureditvami, delno zapirajo obstoječe vodne poti odtekanja površinskih voda proti Savi. Zato se kote glavin dvignejo do 3 cm. Dvig glavin je, posebej ob upoštevanju velikostnega reda pretoka reke Save majhen, pri tem pa je treba upoštevati, da ti vodostaji ostajajo precej nižji kot pri sedanjem stanju (do cca. 80 cm). Ker so bili v modelu ob upoštevanju odlagališča hkrati upoštevani tudi drugi posegi in spremembe, ni mogoče določiti deleža posamičnega vzroka (posega v prostor) za pojav lokalnega dviga gladine. Kljub dvigu glavin na ožjem območju odlagališča NSRAO pa rezultati kažejo, da se bo poplavna varnost z umestitvijo vseh načrtovanih objektov in ureditev na tem območju glede na sedanje stanje izboljšala. Glede na opravljene izračune naj bi območje odlagališča NSRAO, savska voda dosegla šele pri pretoku $Q_{PMF}=7081 \text{ m}^3/\text{s}$ (slika 4-18). Ob upoštevanju načrtovane kote platoja odlagališča NSRAO na 155,20 m.n.m. je mogoče trditi, da je odlagališče varno tudi pred ekstremnimi visokimi vodami Save. Rezultati kažejo, da bi bilo mogoče poplavno varnost odlagališča NSRAO zagotoviti tudi pri nižji koti platoja. Pri bodočem stanju, kjer so upoštevane vse znane obstoječe in predvidene ureditve, bi bilo odlagališče brez upoštevanja zalednih vod, varno že na koti 152,8 m.n.v. [10].

Na podlagi vpliva savskih visokih pretokov je tako določena najvišja možna kota na območju lokacije NSRAO 152,73 m n.m. Za potrebe poplavne varnosti odlagališča NSRAO je bila izvedena tudi analiza vpliva ekstremnih zalednih vod, ki pa ne morejo nastopati hkrati z

ekstremnimi vodami reke Save in se jih zato ne seštevata. Dodatne analize so pokazale, da ob konzervativni predpostavki ničelnega ponikanja kota zaledne vode v bližini odlagališča ne more preseči 154,17 m n.m. Zaradi večje negotovosti določitve merodajne kote zaledne vode je predlagano, da varnostna višina namesto 0,5 m (predlog ARSO za Q100) znaša 1m in enotna kota platoja odlagališča NSRAO na nivoju 155,20 m n.m. [13].

Na podlagi izračunov merodajnih zalednih vod je ugotovljeno, da je kota dostopne ceste 152,20 m n.m. ustrezna ob pogoju, da se bodoči prepust med deponijo Kostak (Spodnji Stari Grad) in odlagališčem NSRAO izvede s cevovod Ø 1000 mm [13]. Na podlagi teh izračunov, so investitorji upoštevali priporočila, ki izhajajo iz te študije in so prepust izvedli s cevovod, ki je celo večja od priporočene in to s cevmi Ø 1200 mm.

Na območju lokacije odlagališča NSRAO ni evidentiranih koncesij za rabo vode. Na širšem območju imata koncesijo za rabo vode hidroelektrarni Krško in Brežice. Dolvodno od Brežic, ob reki Savi, ima koncesijo še podjetje Terme Čatež.

Poti potencialne kontaminacije so obravnavane v poglavju 7 tega poročila.

Hidrološke študije, ki obravnavajo poplavno varnost lokacije odlagališča NSRAO kažejo, da je kljub zelo konservativnemu pristopu pri izdelavi teh študij lokacija odlagališča tudi ob največjih poplavah varna. Kljub temu pa je potrebno v vseh fazah projekta pozorno spremljati umeščanje novih objektov in potencialne spremembe na obstoječih objektih na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO. V primeru, da bodo nove nastale spremembe v okolici odlagališča NSRAO očitno poslabšale poplavno varnost tega območja, bo potrebno obstoječe študije poplavne varnosti nadgraditi.

4.3.2 HIDROGEOLOGIJA

Lokacija odlagališča NSRAO leži na ravninskem območju na levem bregu Save. Področje predstavljajo zasuti meandri potokov iz območja Krških Goric ter njihovih močvirij, ki so se v preteklosti izmenjevale s poplavno ravnico reke Save.

V širšem smislu leži lokacija na vodnem telesu podzemne vode Krška kotlina, ki ima tri tipične vodonosnike.

- Prvi vodonosnik ali skupina vodonosnikov: Peščeno-prodni zasipi rek Save, Krke in njenih pritokov.
 - o Tip prvega vodonosnika ali skupine vodonosnikov: Medzrnski, aluvialni - obširni in lokalni srednje do visoko izdatni, mestoma nizko izdatni vodonosniki.
- Drugi vodonosnik ali skupina vodonosnikov: Pleistocenski in terciarni sedimentni pod aluvialnimi nanosi reke Save.
 - o Tip drugega vodonosnika ali skupine vodonosnikov: Medzrnski - obširni in lokalni nizko do srednje izdatni vodonosniki.
- Tretji vodonosnik ali skupina vodonosnikov: Karbonatne kamnine v podlagi terciarnih plasti - termalni vodonosnik [9].

V neposredni bližini obravnavanega območja imamo opraviti s potokom Struga, katerega korito se izteče na polju, vzhodno od obravnavane lokacije. Voda vzdolž Struge ponika in le redko doseže reko Savo. Zahodno od lokacije se v Savo izliva potok Potočnica, na vzhodu pa

Dolnjevaški potok, ki se razliva po površini v območju severno od vasi Pesje; ob visokih vodah pa se izliva v potok Močnik, ki teče v smeri proti Savi.

Nivo in smer toka podzemne vode na območju lokacije NSRAO in na njenem širšem območju sta bila pred izgradnjo HE Brežice odvisna od hidrološkega režima Save, napajanja vodonosnika (iz zaledja in s padavinami), od geometrije plasti v prostoru in od antropogenih vplivov. Od izgradnje tesnilne zavese in bazena za HE Brežice, le ta predstavlja nov hidrogeološki moment v tem okolju in vpliva na dinamiko podzemnih vod na širšem območju lokacije za odlagališče NSRAO. Raztezanje hidrogeoloških plasti je odvisno od strukturnih pogojev na območju Krškega polja, kjer imamo opraviti s sinklinalo, katere os je usmerjena v smeri vzhod-severovzhod / zahod-jugozahod.

Na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO ločimo tri hidrogeološke enote in to dva vodonosnika (kvartarni in pliokvartarni) in en akviklud (miocenski).

Hidrogeološke enote, ki segajo globlje od terciarnega akvikluda, niso opredeljene [14].

Hidrogeološki model in opis hidrogeoloških enot

1. Kvartarni vodonosnik

Kvartarni vodonosnik Krškega polja predstavlja aluvialni zasip Save, ki ga sestavljajo pretežno prodi in peski z meljem in občasno s primesmi gline. Vodonosnik je klasificiran kot obširen in visoko izdaten hidrodinamsko odprt vodonosnik. Na območju obravnavane lokacije znaša povprečna debelina kvartarnih plasti cca 10 m, njihova debelina se večja v smeri proti jugu. Anizotropijo tega nanosa lahko smatramo kot zanemarljivo. Kote gladine podzemne vode v kvartarnem vodonosniku so vezane na napajanje iz reke Save in na dotoke s Krškega hribovja. Smer toka podzemne vode je spremenljiva. Nanjo vpliva položaj gladine reke Save: ob visokem vodnem stanju Sava napaja območje odlagališča, vendar večinoma (97 % časa) območje odlagališča drenira. Smer toka podzemne vode v prevladujočem vodnem stanju je proti jugovzhodu, ob visokovodnem valu reke Save pa proti severovzhodu. Hitrost podzemne vode v kvartarnem vodonosniku je ocenjena na približno od 23 m/dan do 39 m/dan in je odvisna tudi od sprememb gradienta med poplavnim valom reke Save [15].

V dodatnih raziskavah na lokaciji odlagalnega objekta odlagališča NSRAO je bila na podlagi črpalnega poskusa pridobljena lokalna vodoprepustnost kvartarnega vodonosnika $1,1 \times 10^{-2}$ m/s [16].

2. Pliokvartarni vodonosnik

Pliokvartarni vodonosnik Krškega polja predstavlja aluvialni zasip Save, ki ga sestavljajo zaglinjeni prodi in peski. Vodonosnik je bil klasificiran kot manjši vodonosnik z lokalnimi ali omejenimi viri podzemne vode. Debelina in prostorska razporeditev pliokvartarnih sedimentov je vezana na Krško sinklinalo. Pliokvartarni sedimenti so po sestavi razmeroma heterogeni. V spodnjem delu serije nastopa slabo sortiran prod z veliko melja in peska. Prevladujejo prodniki kisle sestave. Na ožjem območju potencialne lokacije Vrbinja Krško se ti prodi sicer ne pojavljajo, ker se nahajajo južno in jugovzhodno od nje [14].

3. Miocenski akviklud

Miocenski akviklud sestavljajo meljasto peščene, peščeno meljne in meljne plasti. Akviklud je kvalificiran kot geološke plasti brez pomembnih virov podzemne vode. Razpon izmerjenih vodoprepustnosti je od $1,28 \times 10^{-8}$ do $3,63 \times 10^{-7}$ m/s. Geometrična sredina koeficienta prepustnosti v miocenskih plasteh znaša $1,14 \times 10^{-7}$ m/s. S hidrogeološkega stališča lahko te plasti opredelimo kot homogene, a z anizotropijo, ki je precej spremenljiva in ni vezana niti na globino niti na litološko sestavo zemljine. Koeficient anizotropije ne presega vrednosti 3. V miocenskem akvikludu je vodoravna komponenta smeri toka podzemne vode manj odvisna od vodnega stanja Save. Prevladujoča smer toka podzemne vode je proti jugu. Horizontalen odklon od prevladujoče smeri toka podzemne vode v odvisnosti od vodnega stanja znaša približno 25° . Največji odklon je v času najvišjega vodnega stanja zaradi vpliva visokovodnega vala Save. Horizontalni gradient toka v miocenskem akvikludu je približno 0,002. Hitrost podzemne vode v miocenskem akvikludu je za približno štiri rede velikosti manjša od hitrosti v kvartarnem vodonosniku. Anizotropija miocenskega akvikluda znatno vpliva na pot in hitrost toka podzemne vode. Tok podzemne vode miocenskega akvikluda ima tako tudi navpično komponento. Vertikalna komponenta toka v miocenskem akvikludu je lahko glede na vodno stanje usmerjen navzgor ali navzdol. Tok v miocenskem akvikludu je sicer po dosedanjih meritvah v 76% časa usmerjen navzgor [15].

Smer in hitrost toka podzemnih vod

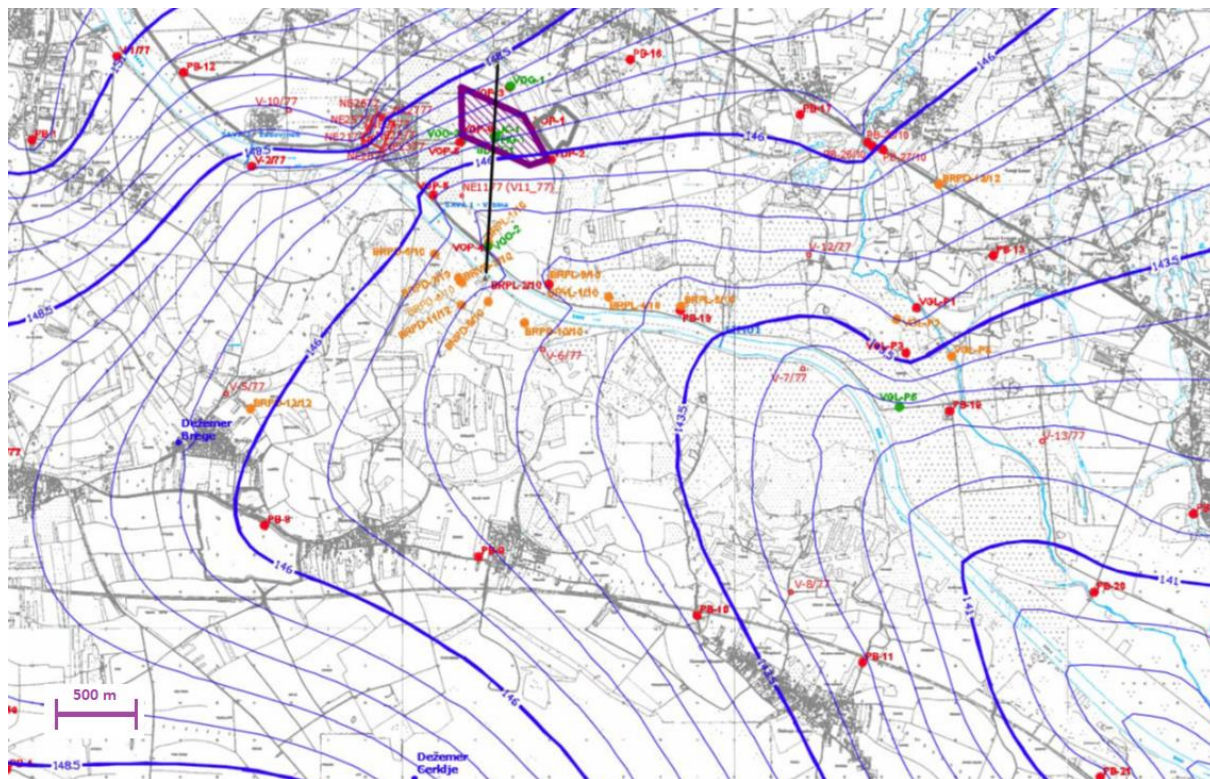
Za določitev smeri in hitrosti toka podzemnih vod je bila pripravljena posebna študija analize podatkov monitoringa podzemnih vod na širšem območju lokacije odlagališča. Na podlagi odziva nivojev podzemnih vod v posameznih piezometrih, na induciran tlačni val ob visokih vodostajih reke in infiltraciji padavin ter iz analize navzkrižne korelacije površinske in podzemne vode je mogoče območje kvartarnega vodonosnika v grobem razdeliti na tri segmente, in sicer: (1) območje pod velikim vplivom reke, (2) območje na robu kvartarnega vodonosnika pod vplivom napajanja s hribovja (3) območje v notranjosti vodonosnika (tudi na lokaciji bodočega odlagališča NSRAO) ter (4) območje v okolici NEK. Območje miocenskega akvikluda zaradi večjih globin kaže zakasnele in dušene odzive, vseeno pa je mogoče zaznati razliko v odzivih glede na oddaljenost od Save.

Na ožjem območju je poudarjen vpliv pregrade pri NEK. Gorvodno od pregrade Sava napaja vodonosnik, neposredno dolvodno od pregrade pa se režim spremeni zaradi višinske razlike med akumulacijo in reko pod pregrado. Od tu naprej Sava pretežno drenira vodonosnik. Izjema so le maksimalna stanja, ki nastopijo ob poplavnih valovih reke. V teh obdobjih Sava tudi dolvodno od pregrade napaja vodonosnik.

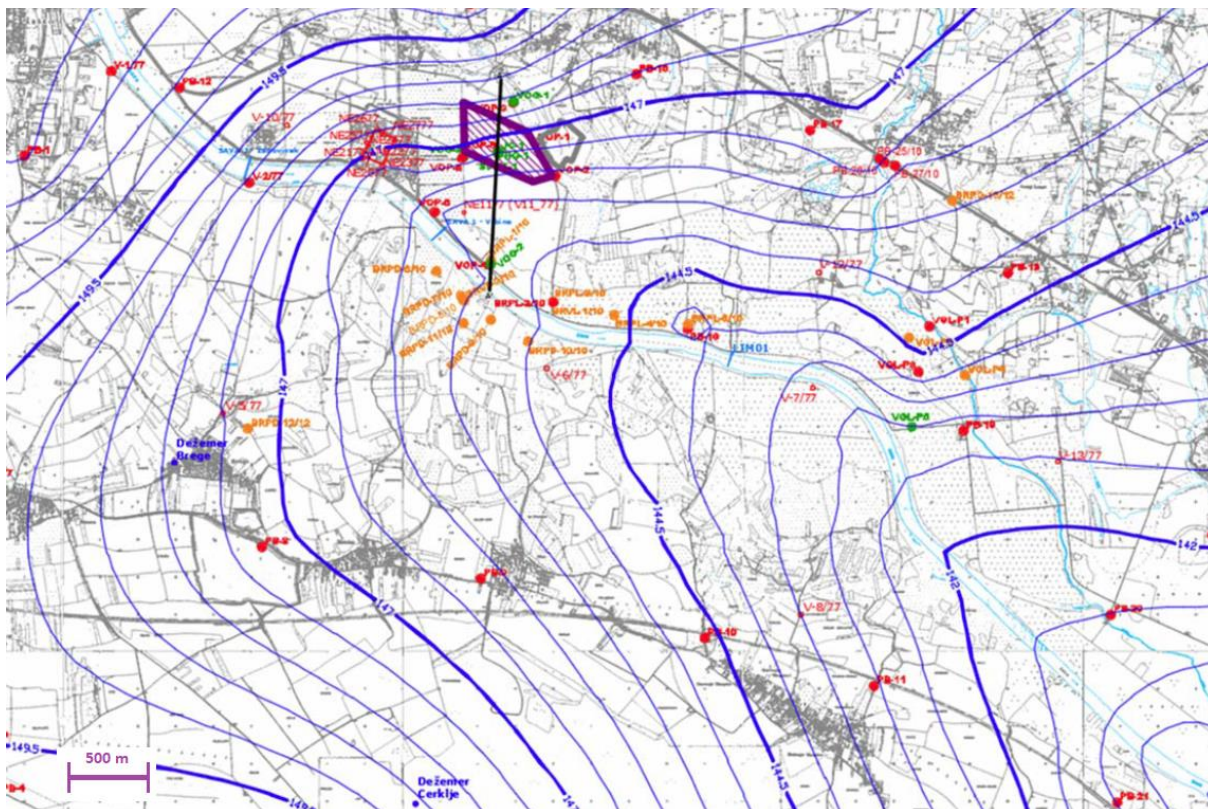
Smer toka podzemne vode v kvartarnem vodonosniku na ožjem obravnavanem območju sicer pri večini vodnih stanj poteka proti jugu-jugovzhodu. Le v času visokih vod v reki Savi se smer toka bistveno spremeni in sicer proti severovzhodu, ko reka napaja vodonosnik tudi na območju pod pregrado NE Krško. Takšne razmere so se v merjenem obdobju pojavljale le v dobrih 3% časa, preostalih 97% časa pa reka drenira vodonosnik. Gradient v kvartarnem vodonosniku na območju dolvodno od odlagališča znaša med 0,0024 in 0,0028 v pretežnem delu leta, v času obrnjene smeri toka pa iz smeri Save proti odlagališču NSRAO znaša do 0,0031.

Smeri toka podzemne vode prikazujejo slike gladin podzemne vode v kvartarnem vodonosniku (slike 4-19, 4-20 in 4-21).

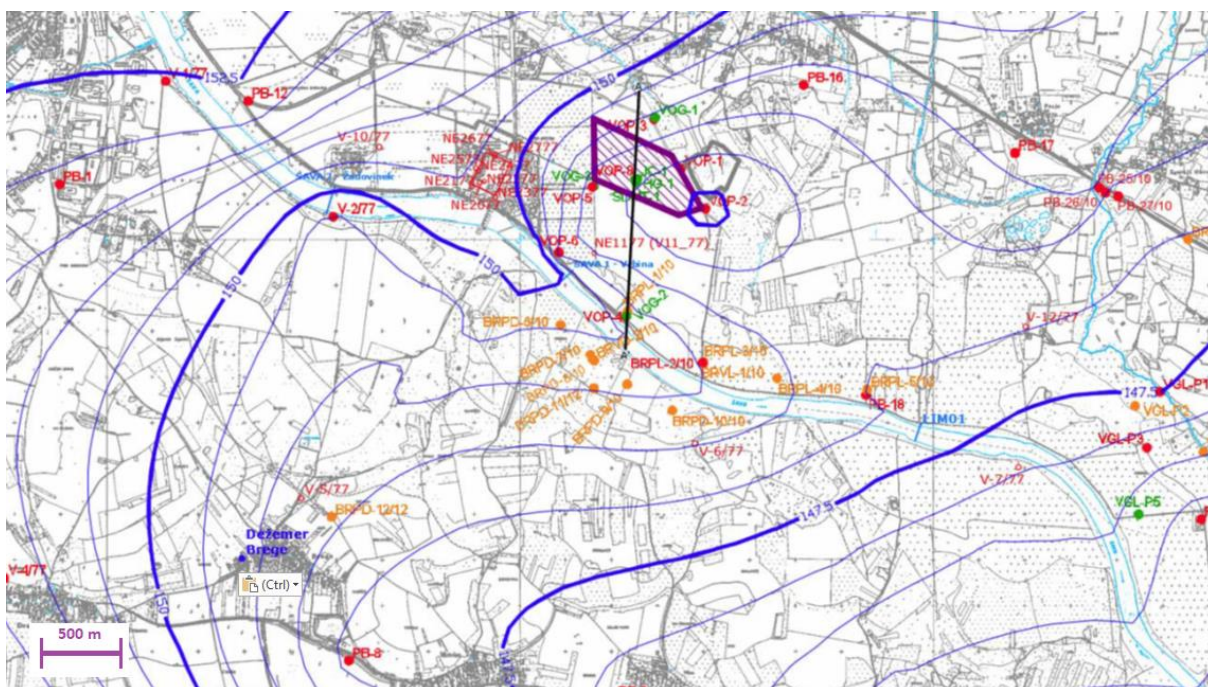
Tako v nizkem, prevladujočem in stabilnem visokem stanju je generalna smer toka od odlagališča NSRAO proti jugu-jugovzhodu. Izjema je le maksimalno stanje, kjer zaradi visokih gladin v Savi le-ta napaja vodonosnik, tok podzemne vode pa je v tem kratkem obdobju neposredno na odlagališču od jugozahoda proti severovzhodu [17].



Slika 4-19: Karta gladin podzemne vode v kvartarnem vodonosniku - nizko vodno stanje [17]



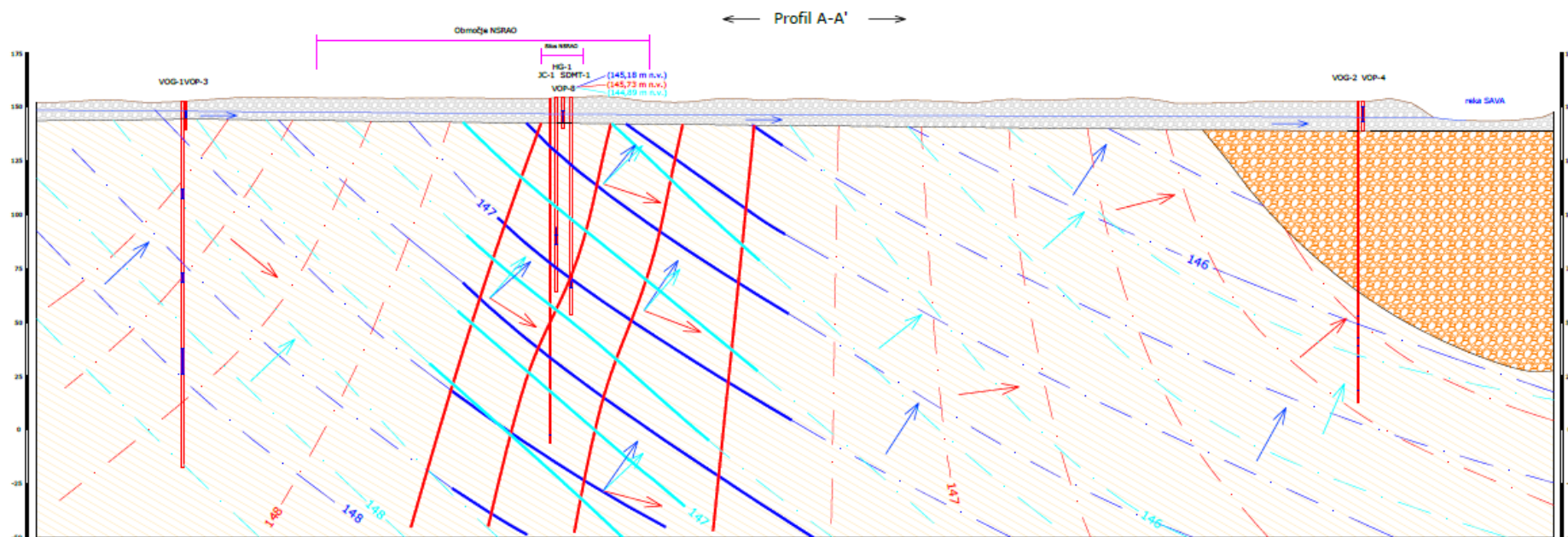
Slika 4-20: Karta gladin podzemne vode v kvartarnem vodonosniku - prevladujoče vodno stanje [17]



Slika 4-21: Karta gladin podzemne vode v kvartarnem vodonosniku - maksimalno vodno stanje [17].

V miocenskem akvikludu je smer toka podzemne vode, ki je prikazana na sliki 4-22, še bolj stabilna kot je to v kvartarnem vodonosniku in sicer v smeri proti jugu-jugozahodu, razen v času visokega vodnega stanja, ko pride do obrata za cca 25° v smeri proti jugu-jugovzhodu. Velikost gradienta v miocenskem akvikludu znaša med 0,00185 in 0,0023. Ob tem je potrebno opozoriti, da je iz razpoložljivih podatkov zaradi specifik opazovalne mreže mogoče ustrezno določiti le vertikalno komponento gradienta v miocenskem akvikludu. Ta se spreminja v predznaku, kar pomeni, da je tok lahko usmerjen občasno navzgor, občasno navzdol, glede na vodno stanje.

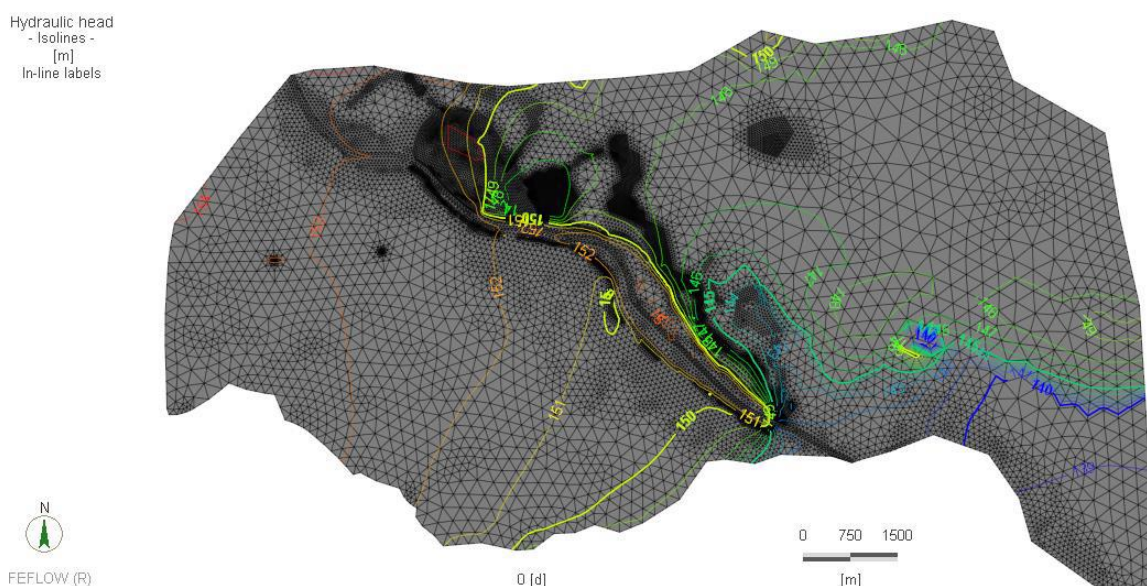
Tok v miocenskem akvikludu je sicer v 76% časa usmerjen navzgor, v novih piezometrih, ki se nahajajo na lokaciji prvega odlagalnega silosa, pa celo 90% časa (kar je po vsej verjetnosti posledica krajšega opazovalnega obdobja).



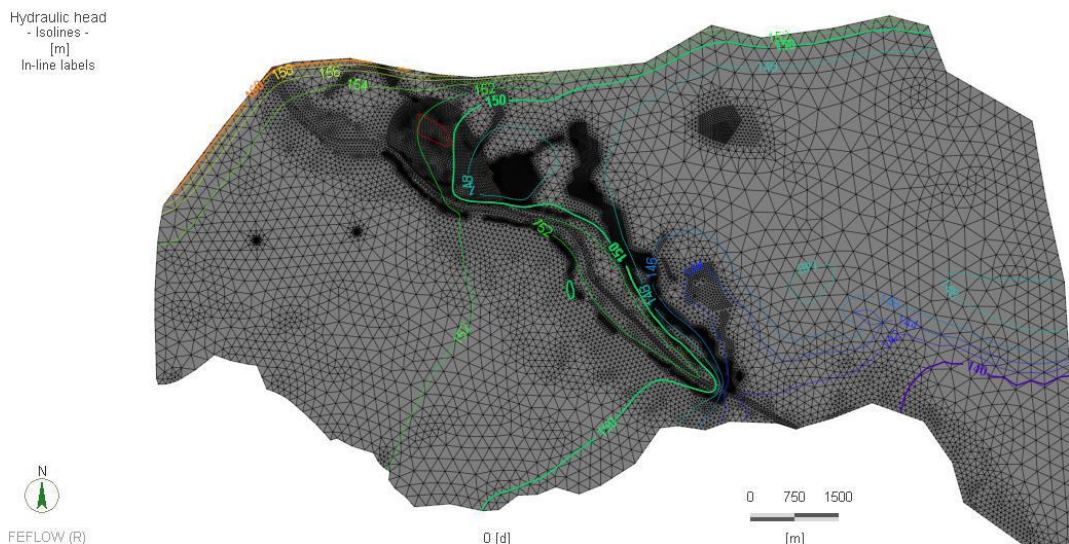
Slika 4-22: Smer toka podzemnih vod v miocenskem akvkludu. Na profilu (smer N-S) so prikazane hidroizohipse za tri različne vodostaje: prevladujoč (temno modra), minimalen (svetlo modra) in maksimalen (rdeča). Merska skala na profilu sega od -50 do 175 m. n.v. s korakom 25 m [17].

Za potrebe napovedi vpliva izgradnje HE Brežice je bila izvedena nadgradnja hidravličnega modela širšega območja odlagališča NSRAO. V modelu so upoštevane vse načrtovane ureditve in ukrepi, ki bodo vplivali na nivo podzemne vode na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO. Na sliki 4-23 so prikazani nivoji podzemne vode v kvartarni plasti, po izgradnji HE Brežice. Iz modela je razvidno, da naj bi bil pričakovani nivo v kvartarni plasti na območju odlagališča med 150 in 152 m. n.v. [18].

Na sliki 4-24 so prikazani nivoji podzemne vode v miocenski plasti in to na globini od 52 do 62 m od kote obstoječega terena. Model kaže, da naj bi bili tlaki v miocenskih plasteh na teh globinah takšni, da bi povzročili nivoje podzemne vode med 150 in 152 m. n.v. [18].



Slika 4-23: Prikaz vplivov HE Brežice na podzemno vodo v kvartarni plasti. Model upošteva vse načrtovane ukrepe za zniževanje podzemne vode (injekcijsko zaveso, drenažne ukrepe in vzdrževanje nivoja vode v gramoznici na 146,5 m.n.v.) [18].



Slika 4-24: Prikaz vplivov HE Brežice na podzemno vodo v miocenski plasti. Model upošteva vse načrtovane ukrepe za zniževanje podzemne vode (injekcijsko zaveso, drenažne ukrepe in vzdrževanje nivoja vode v gramoznici na 146,5 m.n.v.)

Temperatura in elektroprevodnost podzemnih vod

Monitoring temperatur podzemne vode kaže, da najvišji razponi temperatur pripadajo kvartarnemu vodonosniku, ki je tudi najbolj podvržen vplivom s površja in površinskih vod. Tako so največji razponi v kvartarnem vodonosniku v bližini reke Save (od 9 do čez 20°C), manjši pa proti notranjosti vodonosnika (do 8 do 16°C). Tudi srednja temperatura se zmanjšuje od reke proti notranjosti vodonosnika, kar bi lahko bila posledica izpustov segrete vode iz hladilnih sistemov NE Krško.

Monitoring elektroprevodnosti podzemne vode je pokazal nadaljevanje trenda visokih vrednosti na območju VOP-1 in VOP-2, kar je najverjetneje posledica odlagališča komunalnih odpadkov. Velja splošna ugotovitev, potrjena tudi v okviru drugih raziskav, da so elektroprevodnosti kvartarnega vodonosnika, sestavljenega tudi iz karbonatnih prodnikov in podvrženega antropogenim vplivom, višje od elektroprevodnosti v ostalih hidrogeoloških enotah. Tako znašajo vrednosti elektroprevodnosti v kvartarnem vodonosniku med 600 in 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, v pliokvartarju (cca 100 m od reke) med 400 in 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, v miocenskem akvikludu pa med 150 in 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [17].

Nezanesljivosti

Na področju hidrogeoloških lastnosti lokacije so manjše negotovosti glede dejanskega odziva podzemnih vod po izgradnji bazena za HE Brežice. Na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO se izvaja kontinuiran monitoring podzemnih vod. S pridobljenimi podatki in njihovo analizo bomo lahko potrdili oziroma bolj natančno opredelili model podzemnih vod na lokaciji odlagališča in v njegovi bližini.

Iz zadnje analize podatkov monitoringa podzemnih vod, ki se izvaja na tem območju, izhaja, da se stanje po polnitvi bazena za HE Brežice še vedno ni stabiliziralo. Nivoji podzemnih vod zaenkrat niso dosegli modeliranih nivojev (slika 4-23 in 4-24).

4.4 Meteorologija

Meteorološke raziskave za lokacijo odlagališča NSRAO Vrbin, ki so povzete v tem poglavju, so bile izdelane v okviru hidroloških in meteoroloških raziskav za potrebe umeščanja odlagališča v prostor [19]. V tej študiji so bili obravnavani dostopni meteorološki podatki od leta 1961 naprej. Preostali podatki so bili pridobljeni iz študij in poročil, ki pokrivajo širše območje lokacije za odlagališče NSRAO.

Klimatsko je raznolikost obravnavanega območja pogojena z reliefom. Lokacija Vrbin (blizu NE Krško) se nahaja na obrobju panonske kotline. Proti zahodu se ravnina oži in pri mestu Krško preide v dolino Save, proti vzhodu pa se odpira v panonsko kotlino. Proti vzhodu je ozemlje torej močno odprto za vplive, ki prihajajo iz panonske kotline, zato to klimo označimo za subpanonsko kontinentalno.

Relativna vlažnost zraka na tem območju je precej visoka in v letnem povprečju znaša nekaj več kot 80%, večkrat se pojavlja tudi megla in večje temperaturne inverzije. Slabše vremenske razmere se pojavljajo precej pogosto, vendar je njihova resnost in intenzivnost nizka. Vetrovi in nevihte z močnimi padavinami so najbolj pogosti v času od marca do septembra. Vremenski pogoji z visoko vlažnostjo in meglo so najbolj pogosti v zimskem času, predvsem decembra in januarja.

V okolici obravnavane lokacije je več klasičnih meteoroloških postaj z dolgoletnim nizom merenj,

- nekoliko navzgor po Savi od Krškega je postaja Sremič (na dvignjeni lokaciji; nadmorska višina 360m, $\varphi=45.96972$, $\lambda=15.50222$)
- na savski ravnini je Gornji Lenart (nadmorska višina 150m, $\varphi=45.92917$, $\lambda=15.57806$),
- na območju NE Krško pa je tudi avtomatska meteorološka postaja.

Vse te tri lokacije nam, ob primernem upoštevanju reliefnih mikrolokacijskih značilnosti, lahko dajo dokaj zanesljivo osnovo za oceno klime obravnavanega območja.

4.4.1 PADAVINE

Količina padavin se na obravnavanem območju polagoma zmanjšuje proti vzhodu. Po podatkih klasične meteorološke postaje v Sevnici, ki je locirana bolj proti zahodu, je bilo v standardnem 30-letnem klimatološkem obdobju 1961-1990 povprečno 1100 mm padavin na leto, na Sremiču in Gornjem Lenartu pa že za okrog 50 mm letno manj. Padavinski režim ima razpoznavne orografske vplive (več padavin v hribovju), kar pogojujejo tudi mikroklimatske razmere. Podatki po mesecih kažejo za povprečje dokaj enakomeren padavinski režim, ki ima maksimum v juniju, juliju in avgustu ter osamljeni maksimum novembra, minimum pa januarja in februarja. Najbolj namočeni poletni meseci imajo v povprečju približno dvakrat toliko padavin kot najbolj suhi zimski. Relativno veliko je padavin poleti, kar pomeni, da so to pretežno

padavine iz ploh in neviht. Tako kot sicer po vsej Sloveniji pa je tudi tu sekundarni povprečni maksimum padavin novembra (vendar z visoko med-letno variabilnostjo) – zaradi jesenskih deževij ob prehodih front preko Slovenije. Močne padavine so predvsem poleti v juliju in avgustu. Izmerjene polurne količine padavin kažejo, da je povratna doba za polurne količine padavin nad 5 mm približno dva tedna. Za močnejše padavine so povratne dobe: za 10 mm ali več v pol ure približno en mesec, za 20 mm ali več v pol ure okrog dva meseca in pol, za 30 mm ali več v pol ure je povratna doba okrog pol leta, za zelo intenzivne padavine nad 40 mm v pol ure pa več kot dve leti. V okviru raziskav za odlagališče NSRAO so bile izvedene tudi posebne meritve z avtomatskimi registrirnimi dežemeri z namenom podrobno razbrati morebitno krajevno in časovno variabilnost padavin. Vsote količin padavin kažejo zelo majhne razlike v merjenih količinah. Iz minutnih časovnih razporeditev količine padavin sledi, da se pogosto pojavlja več režimov: npr. silovit začetek, potem vedno bolj umirjene padavine (kar je po navadi značilnost nevihtnih padavin), ali pa obratno: počasen začetek padavin in potem okrepitev do močnih padavin (kar je po navadi povezano s frontalnimi padavinami). Sneženje lahko s precejšnjo verjetnostjo pričakujemo v vseh zimskih mesecih (dec-feb), pa tudi novembra in marca. Le redko sneži aprila in le izjemoma maja. Vendar standardne deviacije kažejo, da so tudi pozimi variacije med leti precejšnje – od dokaj “zelenih” zim do dokaj “belih”. Zanimivo pa je, koliko je variabilnost manjša na Sremiču: kadar na okrog 200 m višje ležečem Sremiču sneži, spodaj na savski ravnini pogosto dežuje. Torej je takrat, ko sneži na Sremiču, precej pogosto meja sneženja nekako med 150 – 350 m nadmorske višine in tedaj »spodaj« (na območju lokacije odlagališča NSRAO) dežuje [20]. Meritve merilne postaje, ki se nahaja v vasi Brege (cca. 2km jugozahodno od lokacije NSRAO) in deluje od leta 1951, kažejo, da je bila največja izmerjena debelina snega 76 cm. Iz varnostnega poročila za NEK izhaja, da je s povratno dobo 100 let, največje dnevno pričakovano povišanje snežne odeje 41,5 cm. Najobsežnejše zabeležene dnevne padavine so bile 128,8mm. Največje zabeležene mesečne padavine pa 340,7mm. Od leta 1999 obstajajo tudi podatki o padavinah iz avtomatskih merilnih postaj. Največja zabeležena polurna količina padavin je bila v septembru 1999 na postaji Brežice in to 64,1 mm [19].

4.4.2 EVAPORACIJA IN EVAPOTRANSPIRACIJA

Za oceno evaporacije so bile uporabljene meritve iz avtomatske meteorološke postaje NEK. Dnevna evaporacija se oceni iz evapotranspiracije s tem, da se vrednost dnevne referenčne evapotranspiracije pomnoži z določenim koeficientom. Velikost koeficienta je odvisna od povprečnih dnevnih vrednosti relativne vlažnosti in hitrosti vetra. Vrednosti, ki jih dnevna referenčna evapotranspiracija lahko doseže, so v povprečju poleti do maksimalno 6,5 mm/dan, pozimi pa so okoli 1 mm/dan ali manj [20].

4.4.3 TEMPERATURA

Za širše območje Krškega so značilna sorazmerno vroča poletja in relativno mile zime. Povprečne januarske temperature so pod lediščem, povprečne julijske pa skoraj 20°C. Za ravninske lege so značilne pogoste temperaturne inverzije, ki imajo bistven vpliv na disperzijo primesi v zraku. Pojavljajo se predvsem ponoči in zjutraj, dopoldne pa se običajno razkrojijo. Inverzije so močnejše v zimskem času. Povprečna višina inverzij je okoli 90 do 110 m [20].

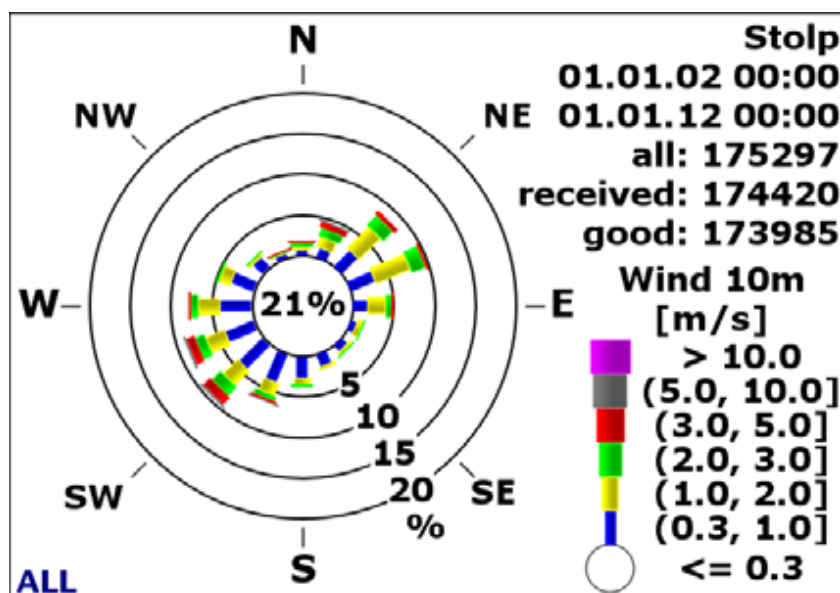
4.4.4 VLAŽNOST ZRAKA

Najbolj vlažna so obdobja v zimski polovici leta. V povprečju pa tudi poleti ni zelo suho (povprečja nad 75% z nizkimi standardnimi deviacijami). Standardne deviacije dnevnih vlažnosti pa so precej večje. To pomeni, da je le redko cel mesec zrak dokaj vlažen – pojavljajo se razlike med posameznimi obdobji, ki v mesečnih povprečjih izravnavajo razmere med bolj »suhimi« in bolj »vlažnimi« dnevi (ti so pogosto povezani s padavinami) [20]. Podatki iz merilnih postaj kažejo, ob stabilnih atmosferskih pogojih in ob dolgem zadrževanju megle, visoko relativno vlažnost ozračja. Tipična maksimalna obstojnost megle za to območje za zimsko sezono je približno 30 ur in se običajno pojavi do enkrat na leto. Najvišja letna povprečna relativna vlažnost je bila zabeležena v letu 2002 in to 82% (merilna postaja NEK) [21].

4.4.5 VETROVI

Območje Slovenije je zaščiteno pred zahodnimi vetrovi z Alpami in Dinarskim gorovjem. Veter je zato tudi na obravnavani lokaciji na splošno šibak. Zelo podrobno se veter meri na lokaciji NEK. Roža vetrov (pogostnosti iz posameznih smeri v % po pripadajočih razredih hitrosti v m/s) nam pove, da tudi tu, kot po vsej Sloveniji, prevladujejo jugozahodniki in severovzhodniki in da so ti vetrovi občasno lahko tudi relativno močni (nad 5 m/s) [20]. To nam kažejo tudi podatki meritev, ki se izvajajo na lokaciji nuklearne elektrarne Krško (slika 4-25) [21].

Najvišje zabeležena hitrost vetra na merilnih postajah na širšem območju lokacije je bila 26,5 m/s, najvišje pol urne povprečne hitrosti vetra pa do 12,1 m/s. Za obravnavano območje ne obstajajo podatki o pojavu hudih vremenskih dogodkov, kot so orkani. Se pa v sezoni od maja do avgusta pojavljajo nevihte, ki pa nimajo pomembnih vplivov na objekte in infrastrukturo [21].



Slika 4-25: Roža vetrov na merilnem mestu NEK Stolp v obdobju 2002-2011 [21].

4.4.6 DIFUZIJA

Za določitev realnega dolgoletnega povprečja difuzije so bili uporabljeni meteorološki podatki merilne postaje, ki se nahaja v NEK, in povzeti iz dokumenta USAR za NEK [21]. Uporabljeni so bili podatki od leta 1986 do 2011 (26 let) in so reprezentativni za preučevano območje. V tabeli 4-3 so podane realne ocene letnega povprečja in difuzijskih značilnosti za različne razdalje in smeri od objekta.

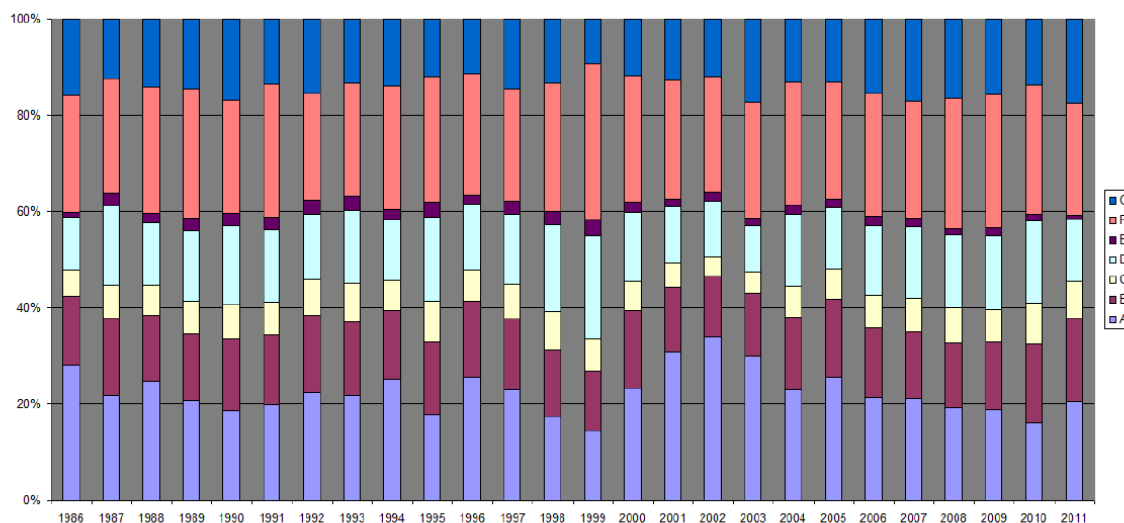
Tabela 4-3: Dolgoročni (26-letni) povprečni koeficienti redčenja za različne smeri in za razdalje do 80 km [21]

	500m	800m	1500m	2400m	3000m	4000m	5500m	7200m	10000m	12000m	25000m	80000m
S	1.37E-05	5.92E-06	3.05E-06	1.89E-06	1.51E-06	1.15E-06	8.47E-07	6.80E-07	5.20E-07	4.51E-07	2.69E-07	1.35E-07
SSV	1.89E-05	8.15E-06	4.18E-06	2.58E-06	2.07E-06	1.56E-06	1.15E-06	9.23E-07	7.04E-07	6.10E-07	3.63E-07	1.82E-07
SV	2.66E-05	1.14E-05	5.80E-06	3.55E-06	2.84E-06	2.14E-06	1.57E-06	1.25E-06	9.51E-07	8.24E-07	4.87E-07	2.43E-07
VSV	2.00E-05	8.57E-06	4.33E-06	2.65E-06	2.12E-06	1.60E-06	1.17E-06	9.35E-07	7.12E-07	6.16E-07	3.65E-07	1.83E-07
V	1.17E-05	5.03E-06	2.55E-06	1.57E-06	1.26E-06	9.47E-07	6.96E-07	5.59E-07	4.26E-07	3.69E-07	2.20E-07	1.10E-07
VJV	7.89E-06	3.38E-06	1.74E-06	1.07E-06	8.62E-07	6.54E-07	4.81E-07	3.87E-07	2.96E-07	2.57E-07	1.54E-07	7.72E-08
JV	9.05E-06	3.88E-06	1.99E-06	1.24E-06	9.89E-07	7.51E-07	5.52E-07	4.44E-07	3.39E-07	2.95E-07	1.76E-07	8.85E-08
JJV	1.49E-05	6.39E-06	3.28E-06	2.02E-06	1.62E-06	1.23E-06	9.04E-07	7.26E-07	5.54E-07	4.80E-07	2.86E-07	1.43E-07
J	2.42E-05	1.04E-05	5.32E-06	3.29E-06	2.63E-06	1.99E-06	1.47E-06	1.18E-06	8.97E-07	7.78E-07	4.62E-07	2.32E-07
JJZ	3.14E-05	1.35E-05	6.91E-06	4.26E-06	3.41E-06	2.58E-06	1.89E-06	1.52E-06	1.16E-06	1.00E-06	5.97E-07	2.99E-07
JZ	4.14E-05	1.77E-05	9.16E-06	5.68E-06	4.55E-06	3.46E-06	2.54E-06	2.04E-06	1.55E-06	1.35E-06	8.05E-07	4.04E-07
ZJZ	4.54E-05	1.94E-05	1.02E-05	6.38E-06	5.14E-06	3.93E-06	2.90E-06	2.34E-06	1.79E-06	1.56E-06	9.36E-07	4.74E-07
Z	5.08E-05	2.17E-05	1.15E-05	7.27E-06	5.88E-06	4.50E-06	3.34E-06	2.71E-06	2.08E-06	1.82E-06	1.09E-06	5.56E-07
ZSZ	3.57E-05	1.53E-05	8.13E-06	5.14E-06	4.16E-06	3.19E-06	2.38E-06	1.92E-06	1.48E-06	1.29E-06	7.80E-07	3.98E-07
SZ	2.15E-05	9.19E-06	4.87E-06	3.07E-06	2.48E-06	1.90E-06	1.41E-06	1.14E-06	8.79E-07	7.65E-07	4.61E-07	2.34E-07
SSZ	1.55E-05	6.65E-06	3.49E-06	2.18E-06	1.76E-06	1.35E-06	9.95E-07	8.03E-07	6.16E-07	5.36E-07	3.22E-07	1.62E-07
POVPR.	2.43E-05	1.04E-05	5.41E-06	3.36E-06	2.71E-06	2.06E-06	1.52E-06	1.22E-06	9.35E-07	8.13E-07	4.86E-07	2.45E-07

več kot 1.00E-04
med 1.00E-04 in 1.00E-05
med 1.00E-05 in 1.00E-06
manj kot 1.00E-06

4.4.7 ATMOSFERSKA STABILNOST

Podatki o atmosferskih stabilnosti za obravnavano območje so povzeti po dokumentu USAR za NEK [21]. Za določanje atmosferske stabilnosti so bili uporabljeni podatki meteoroloških meritev NEK (AMS Stolp). Uporabljeni so bili podatki o temperaturnem gradientu in podatki o vetru in to za časovno obdobje od leta 1986 do 2011. Atmosferski razredi so določeni po metodi Voght in to od A (zelo nestabilen) do G (izredno stabilen) in so prikazani na Sliki 4-26.



Slika 4-26: Frekvenčna porazdelitev razredov atmosferske stabilnosti za obdobje od leta 1986 do leta 2011 [21]

4.4.8 OSONČENJE

Po študiji o razpoložljivi sočni energiji v Sloveniji [22] povzamemo, da je dotok sončne energije na horizontalna tla na tem območju (brez upoštevanja senc zaradi hribov) letno okrog 1230 kWh/m². Upoštevanje reliefa pa pove, koliko je energije na nagnjena tla: prisoje seveda dobijo več, osoje pa manj. Za lokacijo odlagališča NSRAO, ki je na pretežno horizontalnih tleh in pretežno odprta proti jugu, vzhodu in zahodu, daje ta vrednost kar dober približek dejanski sončni energiji [20].

4.4.9 DOLGOROČNE SPREMEMBE PODNEBJA

Podnebni scenariji kažejo, da se bo Slovenija v prihodnosti še naprej ogrevala. V prihodnjem tridesetletju se bo letna povprečna temperatura dvignila za 1 °C, v naslednjem tridesetletju pa še za dodatno 1°C. Za padavine podnebni scenariji kažejo večjo negotovost, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo.

Na letni ravni se spremembe kažejo šele v drugem tridesetletnem obdobju (2041–2070), ko se bo količina padavin povečala v vzhodni polovici Slovenije. Na sezonski ravni se spremembe kažejo že v prvem tridesetletnem obdobju. V zimskem času kaže, da se bo količina padavin povečala, poleti pa zmanjšala. V drugem tridesetletnem obdobju se ta signal še okrepi. Spremembe potencialne evapotranspiracije v prvem tridesetletju ne bodo znatne. V naslednjem tridesetletju pa se kaže jasen signal povečane potencialne evapotranspiracije, predvsem poleti in jeseni [23].

Meteorološki vplivi in potencialen vpliv podnebnih sprememb na odlagališče NSRAO je obdelan v poglavju 7 tega poročila.

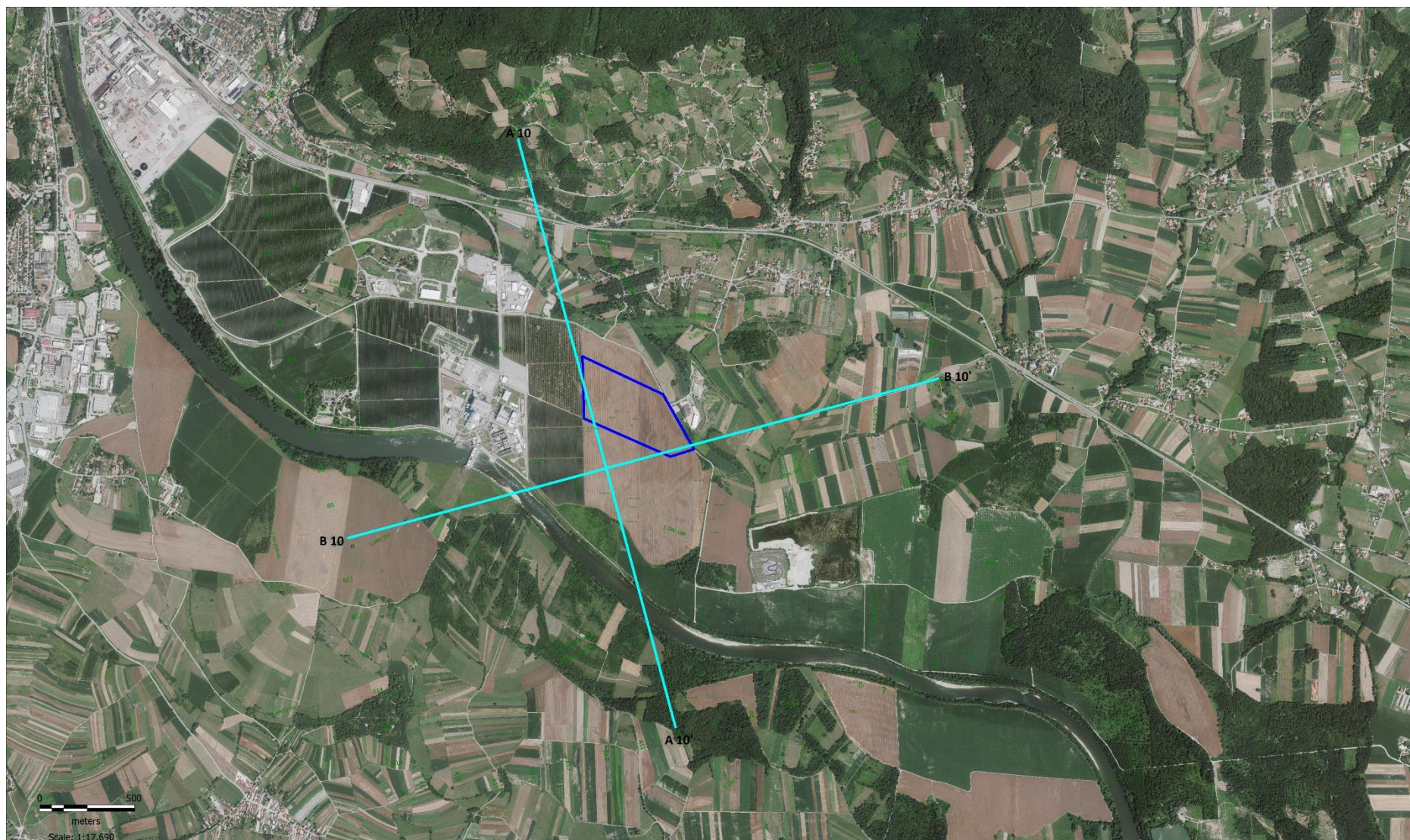
Po zaprtju, ob večjih klimatskih spremembah, na primer v primeru večjega segrevanja ozračja in ob potencialni manjši količini padavin in večji evaporaciji, je pričakovati znižanje nivojev podtalnice, kar pa ne bo vplivalo na odložene odpadke saj se bodo le ti nahajali več metrov pod vodonosnikom v miocenskem melju. Ravno tako ohlajanje ozračja in potencialno višanje nivojev podtalnice ne bo vplivalo na odlagalni silos in odpadke. Večja ohlajanja ali segrevanja ozračja ne morejo bistveno vplivati na odlagališče in odložene odpadke saj se bodo ti nahajali več metrov pod površino, kjer pomembnega temperaturnega vpliva na odlagalni objekt in odpadke ne bo. Na odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov na Vrbinji zato tudi večje klimatske spremembe ne bodo bistveno vplivale.

4.5 Geologija in seizmologija

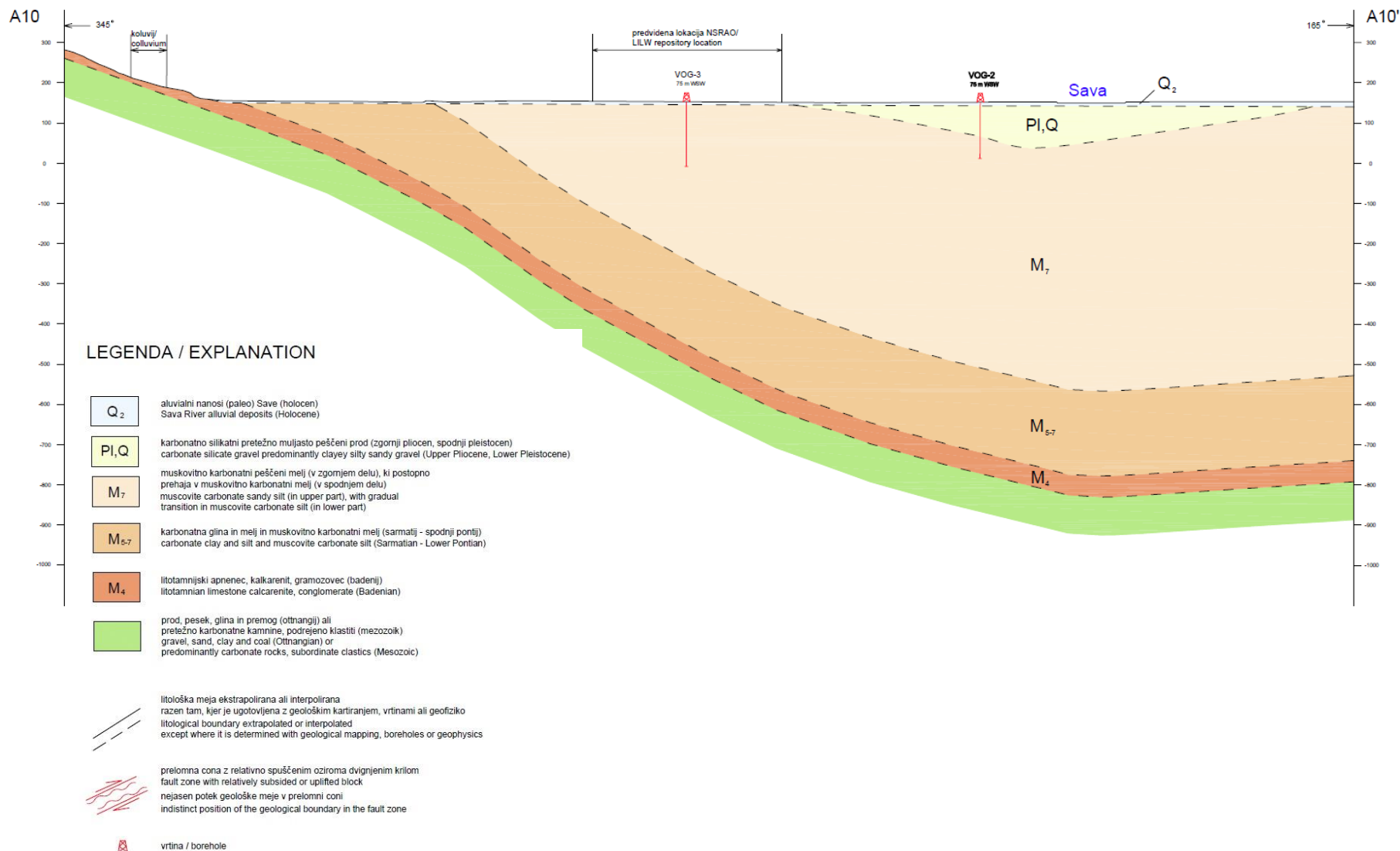
4.5.1 GEOLOŠKE LASTNOSTI LOKACIJE

Krška sinklinala je najpomembnejša plikativna struktura v obrobem delu Srednjemadžarske cone in ima severovzhodno smer, v osrednjem delu Krškega bazena in proti zahodu pa zavije v smer vzhod-zahod.

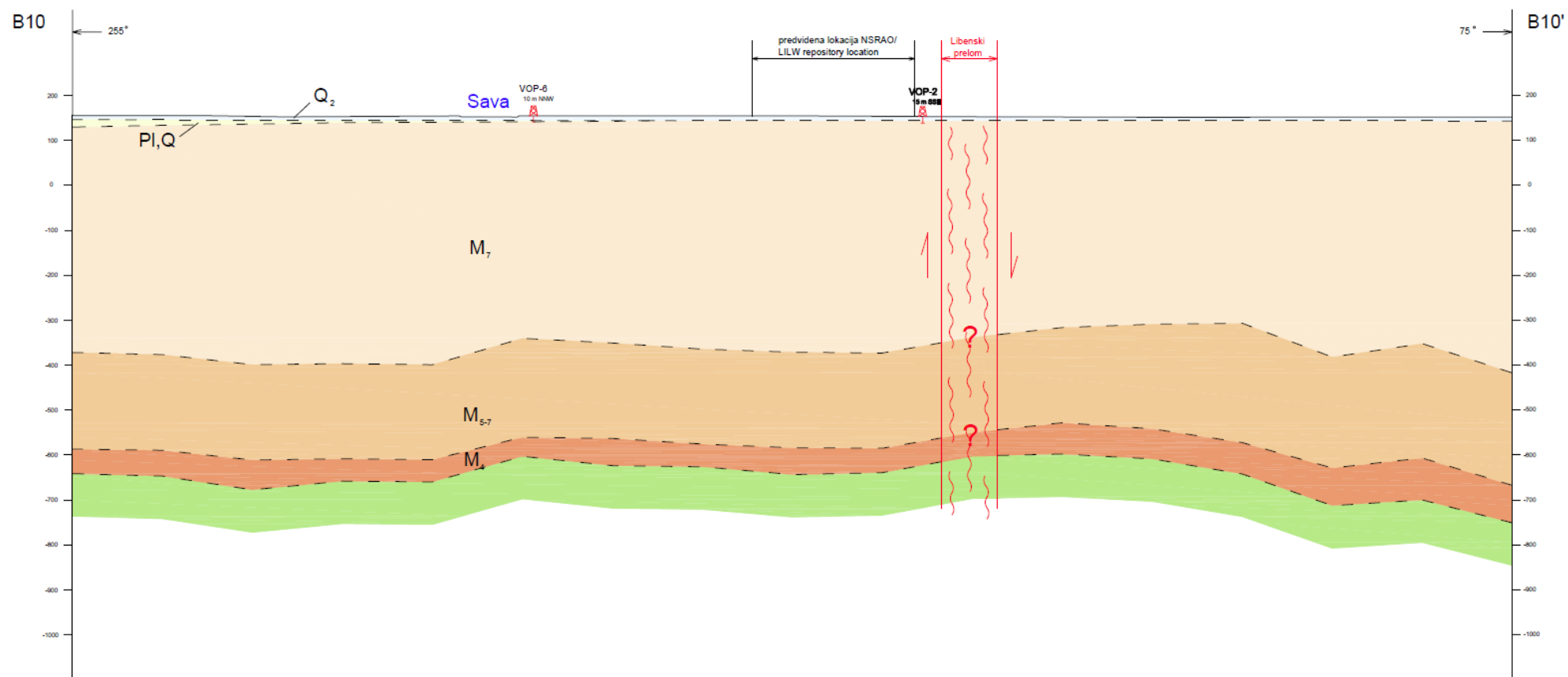
Širše območje lokacije predstavlja Krška kotlina, kjer pod Krško sinklinalo terciarnih sedimentov ležijo sedimenti mezozojske starosti neznane debeline. Najstarejši terciarni sediment je ottnangijski zaglinjeni silikatni prod, ki ponekod vsebuje premog. Je srednje do zelo debelo zrnat. Navzgor mu sledi erozijsko diskordantno odložen masivni apnenec, badenijske starosti, ponekod prekrit z apnenčevimi sarmatijskimi resedimenti. Te sedimente prekriva nato v Krški kotlini nad 1000 m debel pokrov sarmatijskih drobnozrnatih klastitov (dobro konsolidiranih glinastih karbonatnih muljev, meljev, peščenih meljev in drobnozrnatega peska), panonijske in pontske starosti. Zadnja in najmlajša enota tega območja je prekrov pliokvartarnih in nato kvartarnih klastitov: spodaj silikatni, pretežno glinasti peščeno meljasti prod srednje do debelozrnat, različne debeline. Debelina zadnjega kvartarnega savskega nanosa je majhna, do 15 m [14]. Geološka profila na območju lokacije odlagališča NSRAO (slika 4-27) sta prikazana na slikah 4-28 in 4-29.



Slika 4-27: Lokaciji geoloških profilov, ki sta prikazana na slikah 4-28 in 4-29.



Slika 4-28: Geološki profil širšega območja lokacije odlagališča NSRAO (smer S-J).



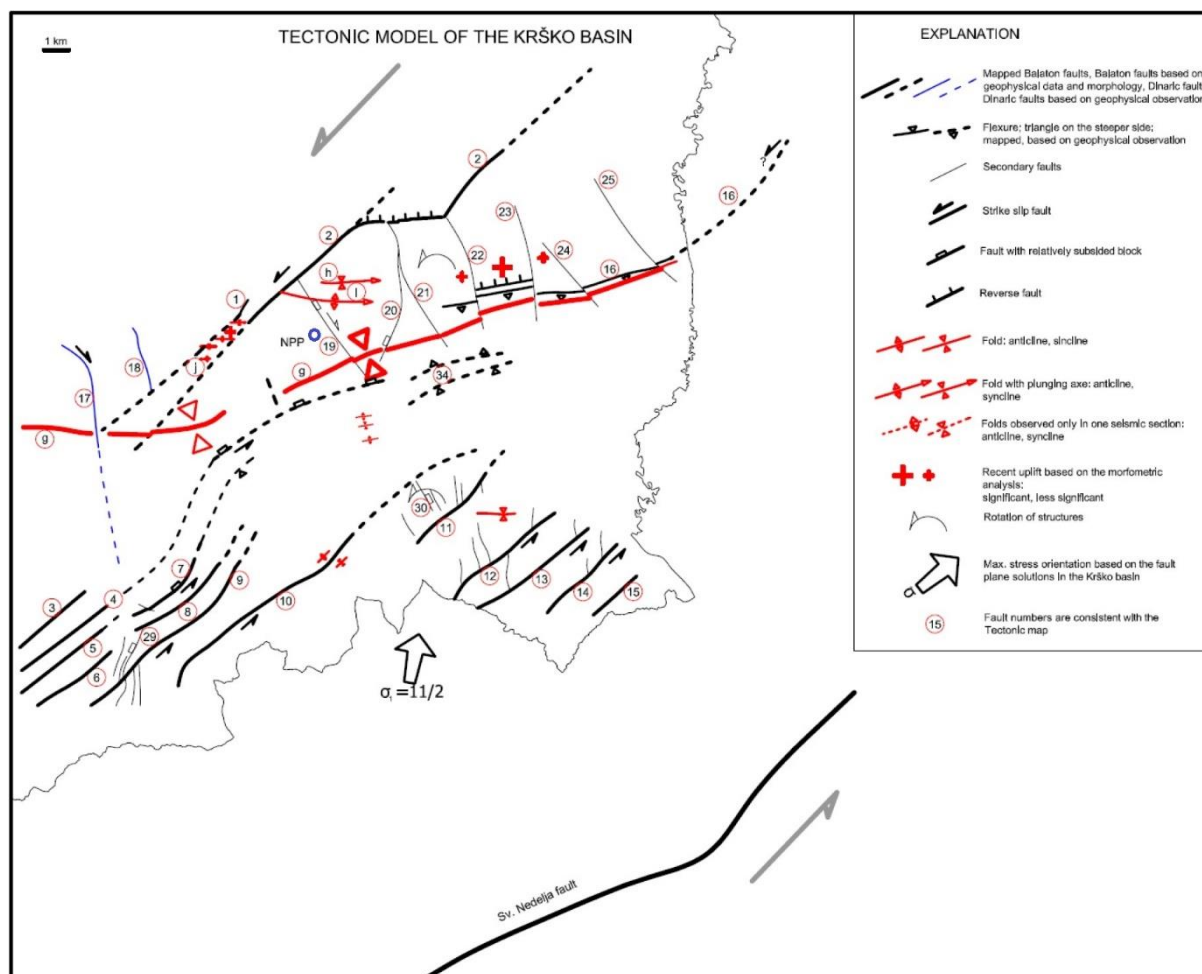
Slika 4-29 : Geološki profil širšega območja lokacije odlagališča NSRAO (smer Z-V).

Na sami lokaciji odlagališča NSRAO je najnižji horizont, ki je bil zajet v prognozi, iz ottnangijskih zaglinjenih prodov (na profilu obarvano zeleno). Litotamnijski apnenec in kalkarenit badenijske starosti se pojavlja na površini na hribu Libna, v severnem delu preiskovanega ozemlja (M4). Na njih odložene karbonatne gline in melji, ki navzgor prehajajo v muskovitno karbonatne melje, so sarmatsko-panonsko-pontske starosti (M5-7). Meja med apnencem in na njem odloženimi klastiti vpada, glede na geofizikalne podatke, proti J-JV (21°) in se sklada z interpretacijo lege Krške sinklinale, ki se pogloblja v smeri proti V-SV, proti Globoški depresiji [15]. Zgornje pontijske starosti je tudi muskovitno karbonatni peščen melj, ki je naslednja litološka enota (M7). Terciarni sedimente prekriva v južnem delu profila pliokvartarni nanos prodno peščeno glinastih, pretežno silikatnih prodov, ki se proti severu tanjša in nato povsem izgine (PI,Q). Mejna ploskev nanosa prodov ni ravnina, temveč je valovita. Nanos je nastajal približno sočasno z gubanjem Krške sinklinale in je bil kasneje delno erodiran. Na njem je odložen holocenski, pretežno karbonatni prodno peščeni nanos reke Save, v debelini od 3 – 15 m (Q2). Sestava prodov pa ni vedno enaka. Ponekod se pojavljajo vmes ali nad njim leče melja in peščenega melja, nastale kot poplavni rečni sedimenti (overbank) [14]. Na območju same lokacije odlagališča ni pričakovati plasti pliokvartarnih nanosov, saj jih v zadnji fazi raziskav, ki so potekale neposredno na lokaciji odlagališča v nobeni izmed vrtni ni bilo [15].

Tektonski model območja

Tektonski model je povzet po poročilu Izdelava seizmološke analize lokacije (geološki del) za objekt odlagališča NSRAO Vrbinja [24].

V geotektonskem smislu širše območje Krškega leži na severozahodnem robu levo zmične Srednjemadžarske cone, v bližini jugovzhodne meje Savskega tektonskega klina z vzhod zahod orientiranimi Posavskimi gubami (Slika 4-30). Glavne (vodilne) strukture Srednjemadžarske cone so SV usmerjeni (»balatonski«) zmični prelomi. Vodilna (glavna) struktura te levo zmične prelomne cone je prelom Sveta Nedelja, na južnem obrobju Gorjancev in Zagrebški prelom vzdolž južnega obrobja Medvednice. Prelom Sv. Nedelja predstavlja nadaljevanje Zagrebškega preloma. Orliški prelom je najbolj severozahodni od balatonskih prelomov in izraža post-badenijsko levo zmično aktivnost in ga smatramo kot zunanjo mejo Srednjemadžarske zmične cone. Pogostnost balatonskih prelomov narašča od Orliškega preloma proti JV.



Slika 4-30: Tektonski model razširjenega območja okolice nuklearne elektrarne Krško (NPP) in odlagališča NSRAO (v modrem vzhodno od NPP).

Glede na podatke seizmičnih in gravimetričnih raziskav in številnih vrtin, ima Krška sinklinale severovzhodno smer v osrednjem delu Krškega bazena in proti zahodu zavije v smer vzhod-zahod, ko se približuje JZ nadaljevanju Orliškega preloma. Osrednji in vzhodni del Krške sinklinale ni vzporeden balatonskim prelomom, saj medsebojni kot znaša približno 30° . Če upoštevamo levozmični karakter balatonskih prelomov, lahko Krško sinklinale razumemo kot "fault-flank depresijo" med ali v povezavi z Orliškim in Artiškim prelomom proti severu in skupino subparalelnih balatonskih prelomov južno od sinklinale, ki so bili opazovani na Gorjancih.

Artiški prelom je markantna struktura na območju Krškega bazena, ki je, glede na podatke vrtin na območju rudišča Globoko prerezan s prelomi, ki potekajo približno v smeri sever – jug. Močniški in Sromljiški prelom sta evidentirana v seizmičnem profilu vzdolž Krške sinklinale. Nadaljevanje Artiškega preloma pod vnožjem Libne je močno vprašljivo, saj v do sedaj izvedenih seizmičnih profilih ni bilo interpretirano, pa tudi fleksura, ki je izražena v območju preloma, po podatkih razmeroma goste mreže vrtin, proti jugozahodu naglo pojema.

Libenska antiklinale je lokalna struktura. Ob Orliškem prelomu je to tesna guba s strmimi krili, proti vzhodu pa zelo hitro preide v odprto gubo in je že na območju doline Močnika ne

zaznavamo več. Libenski prelom je na podlagi različnih nivojev, na katerih so odloženi pliokvartarni sedimenti na Libni, interpretiran kot normalen prelom s pogreznjenim vzhodnim krilom, v paleoseizmološkem razkopu pa smo v njegovi prelomni coni opazili znake desnega zmičja. Griški prelom je vzporeden Orliškemu in je prav tako levo zmičen.

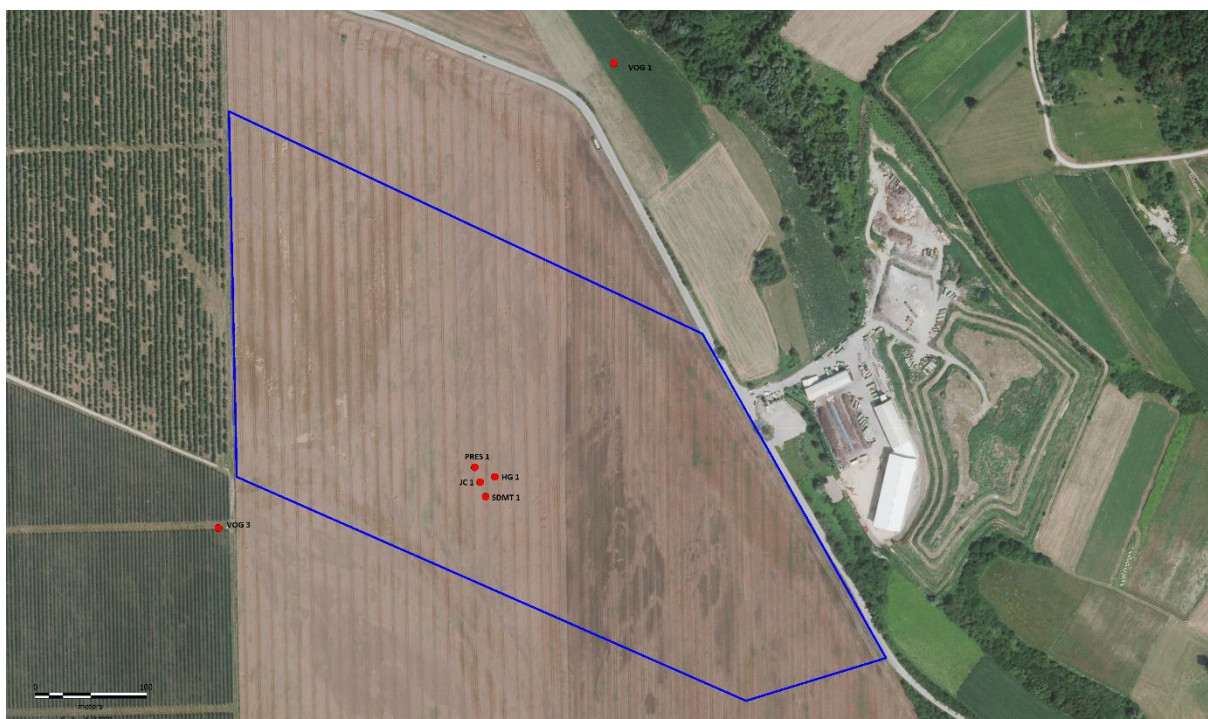
Prelomi v južnem krilu Krške sinklinale so levozmični prelomi balatonske smeri z reverzno ali normalno komponento [15].

Krško sinklinalo z osjo, ki poteka v smeri ZJZ-VSV, tvorijo sedimenti terciarne starosti. Sinklinalo sekajo nekateri mlajši prelomi. V regionalnem smislu je najpomembnejši domnevno recentno aktiven prečno dinarsko (SZ–JV) usmerjen levo-zmični Orliški prelom. Ob Orliškem prelomu so domnevno premaknjene pliokvartarne plasti na območju Leskovca.

Na obravnavanem območju vzhodno od predvidene lokacije odlagališča je bil ugotovljen Libenski prelom, ki poteka v smeri SZ-JV. Njegovo severovzhodno krilo je relativno spuščeno za približno 50 m. Delno ima prelom tudi zmične lastnosti. Gre za nad 100 m široko prelomno cono, sestavljeno iz štirih vzporednih prelomov, ki vpadajo proti severovzhodu, in vmesnih zdrobljenih in porušenih con. Prelomna cona je bila verjetno aktivna že pred odlaganjem pliokvartarnega proda, med njegovim odlaganjem ali po njem pa so se reaktivirali le posamezni prelomi. Starost prelamljanja (če je tektonsko) je več kot 1,8 milijonov let.

Ne obstajajo zanesljivi dokazi, da so bili pliokvartarni sedimenti premaknjeni zaradi tektonskih premikov ob prelomu. Ker je bil paleoseizmološki razkop na Libni lociran poleg kraške vrtače in možnega globokega plazju, so bili premiki pliokvartarnih sedimentov najverjetneje povzročeni zaradi netektonskih procesov. Na Libenskem prelomu ni dokaza za premike v zadnjih 35.000 letih in ni ponavljajočih premikov v zadnjih 500.000 letih. Ravno tako ni dokaza, da je Libenski prelom povezan s kakim drugim zmožnim prelomom. Ni znane historične seizmičnosti, povezane z Libenskim prelomom. Libenski prelom ne kaže nobenih dokazov preteklih prelomov ali prelomov (npr. pomembne deformacije in/ali dislokacije) ponavljajočega se značaja v taki periodi, da bi lahko sklepali o prihodnjih premikih na ali blizu površine [15].

Na podlagi zadnjih terenskih raziskav, ki so bile zaključene v začetku leta 2015 [15] in so se izvajale neposredno na lokaciji načrtovanega prvega odlagalnega silosa odlagališča NSRAO, so pridobljeni rezultati, ki so podani v nadaljevanju poročila. Ti rezultati in ugotovitve so ključne za poznavanje mikro lokacije odlagališča. Na sliki 4-31 so označene lokacije globokih vrtin na lokaciji odlagališča.

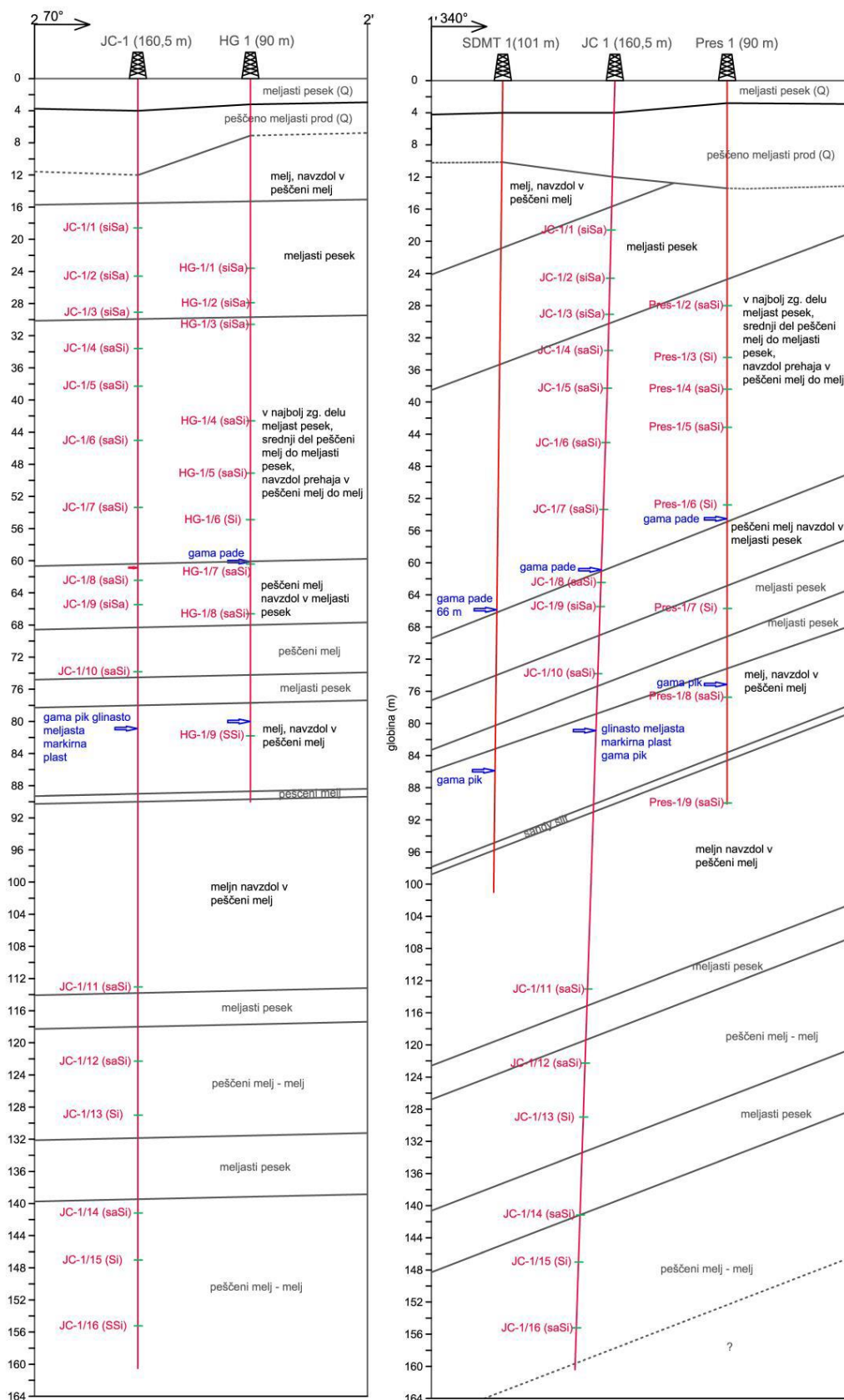


Slika 4-31. Lokacije globokih vrtin (90 – 170m) na in v neposredni bližini lokacije odlagališča NSRAO.

Na podlagi raziskav plastovitosti (stratifikacije) v jedrih vrtin ni bilo mogoče opaziti. Ravno tako se ne da natančno povezovati posameznih odsekov v jedrih, saj so prehodi med posameznimi enotami postopni in zaradi tega subjektivno/arbitrarno postavljeni. Granulometrična sestava se vzdolž jeder zelo malo razlikuje, prav tako barva, in zato ni na voljo nekega tankega, dobro ločljivega markirnega horizonta, ki ga bi lahko povezovali čez vse vrtime. Izjemo predstavlja glinasto meljasta plast v spodnjem delu zaporedja.

S pomočjo dobro definiranih pikov naravne gama aktivnosti, downhole in crosshole podatkov, pa se je dalo kljub temu dovolj dobro povezovati posamezne združene pakete bolj peščenih in bolj meljastih delov v model, ki je skladen s predvidevanji, to je vpad plasti pod naklonom 21° proti JJV (Slika 4-32).

Iz jeder vrtin je videti, da v teh sedimentih plastovitost (stratifikacija) ni dobro razvita/vidna. Ker bo odlagališče locirano v približno istem stratigrafskem nivoju, kot je bila tudi gradbena jama za obstoječo jedrsko elektrarno, kjer je bila na podlagi fotografij dobro vidna plastovitost in sklepamo, da je podobna situacija tudi tu. Celotno zaporedje je torej razvito kot vzporedno plastnat sistem. Ploskve plastovitosti ne predstavljajo neke diskontinuitete, pač pa je to verjetno posledica spremembe zrnivosti, deloma tudi sestave [15].



Slika 4-32. Prečni in vzdolžni profil čez vrtime na lokaciji prvega odlagalnega silosa. Strukturni model prikazuje združene pakete posameznih koreliranih odsekov, na podlagi popisa in karotaže.

Glede na inženirsko-geološke razmere, ugotovljene s pregledom obstoječe dokumentacije, kartiranjem in popisom vrtin, je bilo na območju odlagališča določenih pet značilnih inženirsko-geoloških (IG) enot, ki so predstavljene v tabeli 4-4. Enote so predstavljene v vrstnem redu, kot se pojavljajo od vrha terena navzdol [15].

Tabela 4-4: Inženirsko geološke enote na območju odlagališča NSRAO.

IG enota	Starost	Globina (m)	Geološko-geomehanski opis in klasifikacija (UCSC/EC7)	Inženirsko-geološki mehanizmi in geotehnični pomen
IG0	Q	do 0,5	Humus (HU)	Plast humusa se bo na območju objektov in dostopnih poti odstranila in je kot taka relevantna le v smislu odvoza in zamenjave materiala.
IG1a	Q _{al}	0,5 - 2,0	Peski, meljasti peski (SP, SM /Sa, SiSa).	Plast, ki je neugodna za izvedbo temeljenja in izkopov. Rahlo, lahko kolapsibilno. Na območju objektov in dostopnih poti se odstrani in kot taka je relevantna le v smislu odvoza in zamenjave materiala.
IG1b	Q _{al}	2,0 - 11,0	Peščeni in meljasti prodi (GP, GM/saGr, sasiGr).	Dobro nosilna plast, primerna za temeljenje. Visoko prepustna, pri izkopu silosa jo bo potrebno podpirati in zagotavljati odvodnjavanje. Primerna za vgradnjo.
IG2a	M ₅₋₇	11,0- >160,0	Meljasti peski in peski (SM, SM-ML/Si, saSi).	Dobro nosilna plast, primerna za temeljenje. Nizko prepustna, pri izkopu silosa jo bo potrebno podpirati in zagotavljati odvodnjavanje. Možen pojav hidravličnega loma tal, pri globljih izkopih. Pogojno primerna za vgradnjo. (Vgradnja je mogoča ob uporabi ustreznih metod izkopa in vgradnje.)
IG2b			Peščeni melji in melji (ML/saSi, Si)	

Pri izvajanju raziskav se je pokazalo, da dodatna prisotnost vode zmanjša trdnostne lastnosti zemljine [14].

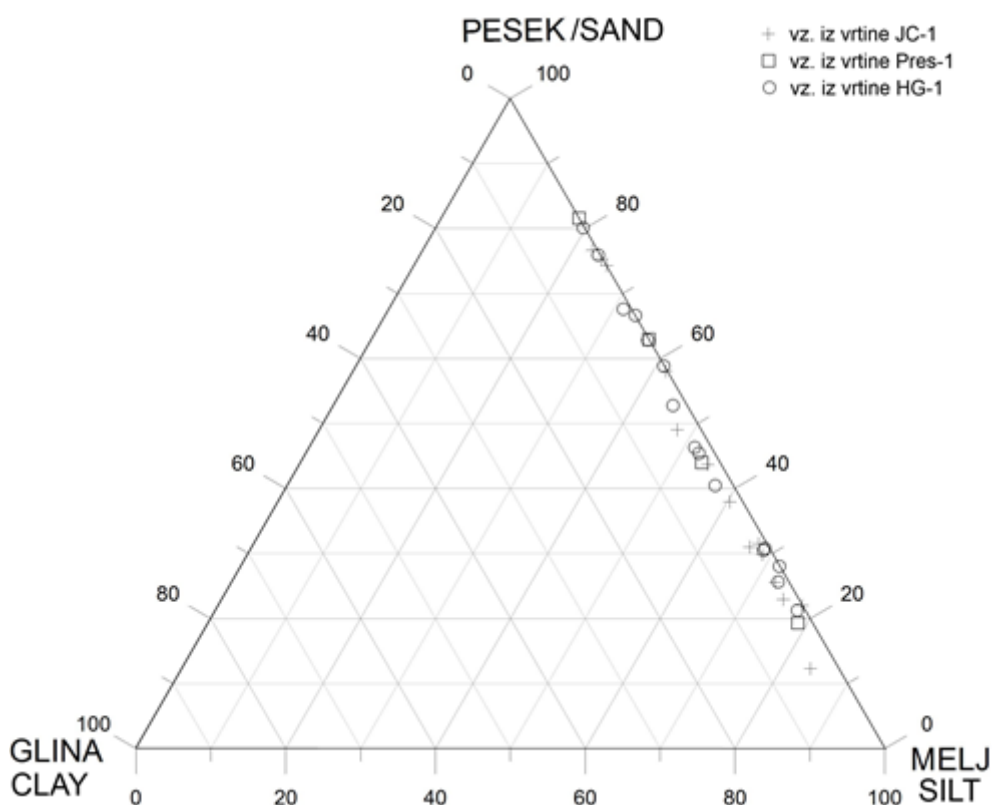
Mineraloško petrografske raziskave vzorcev melja so pokazale, da je granulometrijska sestava litološke enote M7 (miocenski sedimenti) dokaj monotona in se razporeja na in ob veznici med

meljem in peskom (slika 4-33), to je med vrednostjo, ki ima okrog 20 do 80 % melja oz. peska, pri čemer so le nekoliko številnejši vzorci na strani z nad 50 % melja (19 od skupno 34 vzorcev). Vsebnost glinene frakcije je v povprečju zelo nizka ali je sploh ni, najvišja vrednost pa znaša le 3,8 % [15].

V okviru Glavnih raziskav geo in hidrosfere za odlagališče NSRAO, so bile na vzorcih melja pridobljenih na lokaciji prvega silosa, izvedene dodatne raziskave za potencial likvifikacije. Na podlagi projektnega pospeška $PGA = 0,47$, ki velja za čas obratovanja silosa, je bila preizkušena možnost likvifikacije miocenskih sedimentov. Ugotovljeno je bilo, da ob takšnih pogojih, melj v katerega bo umeščen silos, nima potenciala likvifikacije [25]. V fazi, ko bo silos zaprt, zapolnjen in zalit z betonom, torej po zaprtju, bo le ta predstavljal monolit v geološkem okolju. Na silos iz geološkega okolja ne bodo vezani nikakršni lateralni vodi, to pa pomeni, da ni nevarnosti pretrgov napeljav in vodov, kar bi lahko povzročalo nevšečnosti v primeru likvifikacije. Silos bo umeščen na ravninskem območju in bi v primeru potencialne likvifikacije, ko bo predstavljal monolit v okolju, lahko potencialno le nekoliko potonil globlje v geosfero. Ostalih pomembnih posledic, ki bi vplivale na monolit pa ni pričakovati.

Ravno tako je bilo dokazano, da relaksacija na vzorce nekoliko vpliva, vendar se deformacijske in strižne lastnosti preiskovanih zemljin bistveno ne spremenijo.

Geokemijske analize vzorcev iz lokacije odlagališča NSRAO so pokazale, da vzorci melja niso agresivni na beton [25].



Slika 4-33: Razporeditev vzorcev miocenskih sedimentov iz vrtin JC-1, Pres-1 in HG-1 v trokomponentnem diagramu zrnivosti.

Glede na vse zbrane podatke med vrtinami ni posebnih izstopajočih razlik. Zrnavostna struktura kaže dobro sortiran meljast do rahlo peščen sediment. Nekoliko bolj peščen horizont

od ostalih vzorcev je bil zasleden le nad izraziteje meljastim delom v vrtini JC-1. Predstavljajo ga vzorci 9 (globina 65,5-65,6 m), 10 (globina 73,85-73,95 m) in delno 11 (globina 113,1-113,2 m). V ostalih dveh vrtinah tak horizont ni najden. Sedimentu iz vrtine JC-1 pod globino 113 m (vzorec 11) so v grobem primerljivi vzorci pod globino 52,80 m (vzorec 6) v vrtini Pres-1 in pod globino 54,90 m (vzorec 6) v vrtini HG-1. Vsekakor pa to ne predstavlja takega zanesljivega ločilnega faktorja.

V sedimentih je običajno, da se spreminjajo količine posameznih mineralnih komponent tako po vertikali, kot tudi horizontalno, in tudi povsem običajno, da se težki minerali koncentrirajo med večja zrna. Vendar pa v vrtinah ni nikjer zaznati take spremembe, ki bi lahko nakazovala kak izstopajoč (primerjalni) horizont. Sediment je monoton, brez izrazitih oscilacij v zrnivosti in sestavi. Pri poimenovanju sedimenta po zrnivosti se kontinuirano pojavlja melj z nekoliko spremenljivo količino peska, po sestavi pa se menjavajo kremen, karbonati in muskovit. Rentgenske raziskave kažejo, da je njihova vsebnost, še posebno kremenca in karbonatov, pogosto zelo blizu skupaj.

Avtigeni minerali, ki jih predstavljajo kalcit, Fe-karbonati, pirit in limonit so zelo redki in po količini skupaj predstavljajo le okrog odstotka celotne mase sedimenta. Njihov vpliv na trdnost - cementacijo sedimenta je zato praktično zanemarljiv.

Med mineraloško neugodne komponente v sestavi sedimenta štejemo nezreli organski detritus, minerale glin in pirit. Čeprav je v preparatih zajet zelo majhen del sedimenta, pojavljanje piritu kaže na delno soodvisnost s količino organskega detritusa. V pri-površinskem delu vrtin piritu nismo našli. Rjavkasta obarvanost sedimenta (pojav limonitnega pigmenta) kaže, da je v celoti oksidiran [15].

4.5.2 SEIZMOLOŠKE LASTNOSTI LOKACIJE

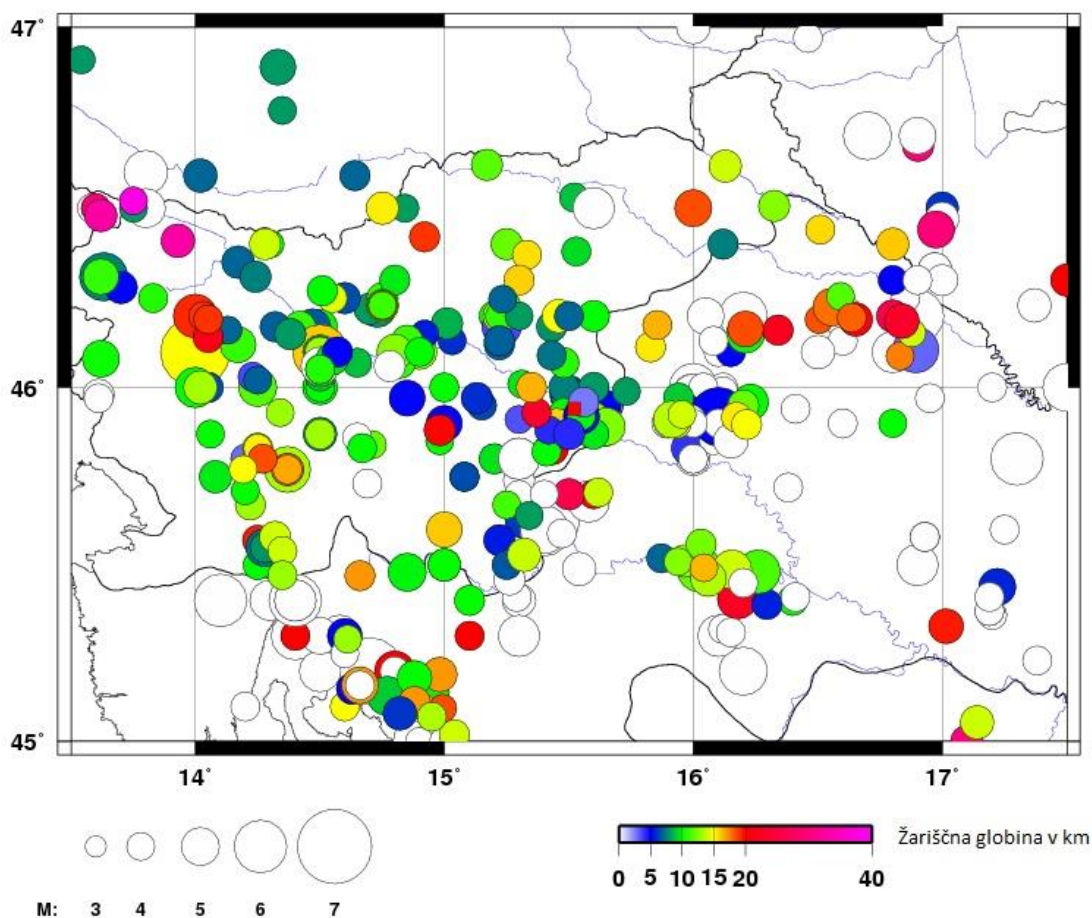
Temeljna strukturna značilnost Krške kotline je sinklinalna zgradba. Z njo sta povezana gubanje in kompresijska tektonika. Širše območje Vrbine je tektonsko precej deformirano. Glavni prelomi imajo smer SZ-JV in SV-JZ, nekateri pa V-Z. V današnjem tektonskem napetostnem polju z osjo glavnega stiska približno v smeri S-J pričakujemo na prvih desnozmčne, na drugih levozmčne, na tretjih pa reverzne zdrse. Premiki na prelomih v smeri S-J pa naj bi imeli pomembno komponento normalnega premika. Najpomembnejši prelom je prečno dinarsko (SV – JZ) usmerjen levozmčni Orliški prelom. Tudi Artiškega preloma ne gre zanemariti, čeprav je njegovo nadaljevanje pod vznožjem Libne močno vprašljivo, saj je bil v okviru verjetnostne analize potresne varnosti NEK 2004 privzet kot pomemben potresni izvor. Po raziskavah v letu 2006 pa bi lahko bila za lokacijo Vrbina pomembna domnevna prelomna cona približne širine 100 m, zaradi njenega možnega poteka ob vzhodni meji lokacije. Cona sestoji iz večjega števila med seboj nepovezanih, skoraj navpičnih do navpičnih prelomov, in je prekrita s tektonsko neporušenimi kvartarnimi sedimenti. Starost prelamljanja (če je tektonsko) je starejše kot 1,8 milijonov let in geomorfološko izražen v Krški kotlini ali severno od Libne. Libenski prelom je južno od Libne izražen kot diskontinuirana struktura, njegova kumulativna dolžina je 4,5 km. Zanesljivi dokazi, da so bili pliokvartarni sedimenti premaknjeni zaradi tektonskih premikov ob prelomu, ne obstajajo. Ker je bil paleoseizmološki razkop na

Libni lociran poleg kraške vrtače in možnega globokega plazju, so bili premiki pliokvartarnih sedimentov najverjetneje povzročeni zaradi netektonskih procesov [24].

Na podlagi poročila Final Report Characterization of the Libna Fault and Tectonic Framework of the Krško Basin [26] izhaja, da Libenski prelom zelo verjetno ni prelom, za katerega obstaja možnost pretrga do ali blizu površja (t.i. "capable fault"). Iz poročila tudi izhaja, da so varnostna tveganja, povezana s prelomom Libna, inženirsko nepomembna in znotraj upravnih omejitev. Pri načrtovanju odlagališča zato velja izhodišče, da se na podlagi znanih dejstev, morebitni premiki zaradi Libenske prelomnice ne upoštevajo.

Seizmološke značilnosti so povzete po poročilu Izvedba seizmološke analize lokacije za objekt odlagališče NSRAO Vrblina [27].

Krška kotlina je med potresno najdejavnejšimi območji v Sloveniji, o čemer pričajo zgodovinski opisi in podatki, ki so sistematizirani v katalogu potresov, nazorno pa to prikazujejo tudi karte potresnih žarišč (Slika 4-34), intenzitetne karte Slovenije in karte potresne nevarnosti. Ker imajo podatki o potresih velik pomen pri določanju geometrije, aktivnosti in drugih značilnosti potresnih izvorov pri izračunu potresne nevarnosti na neki lokaciji, je bil originalni katalog večkrat prenovljen.



Slika 4-34: Nadžarišča potresov magnitude $M=4,0$ ali večje v obdobju 1508 – 2014 na širšem območju okoli Krške kotline. Velikost krogcev odraža magnitudo potresov, barva pa njihovo žariščno globino.

Lokacije najmočnejših zgodovinskih potresov (Tabela 4-5) so precej nezanesljive. Do začetka 20. stoletja ni bilo instrumentalnega beleženja potresov in so parametri potresa določeni na podlagi razporeditve učinkov na površju. Najpogosteje so lokacije makroseizmičnega nadžarišča sovpadale s krajem z največjimi učinki, ki pa ni nujno neposredno nad žariščem potresa.

Tabela 4-5: Potresi z največjo intenziteto VII. stopnje EMS-98 in večjo z žarišči v bližini lokacije odlagališča NSRAO v Vrbin pri Krškem.

Leto	mesec	dan	ura	minuta	Širina	Dolžina	Imax EMS-98	Magnituda
1628	06	17	17		45.98	15.5	VIII	5,2
1632	11	27	19		45.97	15.5	VII	5,0
1640					45.74	15.3	VI-VII	4,8
1917	01	29	08	22	45.90	15.58	VIII	5,7
1928	08	25	21	09	45.92	15.55	VII	5,1

Tako je za potres leta 1628 znano le, da se je stresla zemlja okoli Krškega in da se je podrlo več gradov, cerkva in hiš brez navedbe krajev, ki so utrpeli take posledice. Zabeleženo je tudi, da so zvonovi v cerkvi v Leskovcu ob potresu zazvonili.

Potres 27. novembra 1632 je naredil veliko škode, vendar se omenja le v kroniki mesta Krško. V zadnji raziskavi sta bila zaradi neujemanja dostopnih zgodovinskih podatkov oba potresa opredeljena kot dvomljiva.

Za potres 1640, ki naj bi naredil veliko škode v Brežicah, so novejša raziskave ugotovile, da je bil precej šibkejši, kot se je prvotno ocenjevalo in da je bilo žarišče najverjetneje ob jugozahodnem robu Gorjancev.

Najmočnejši in zelo dobro dokumentiran potres na tem območju se je zgodil 29. januarja 1917 ob 8. uri 22 minut (UTC). Potres je imel magnitudo 5,7 in največje učinke VIII. stopnje po MSK lestvici. Potres je povzročil tudi gmotno škodo, predvsem na območju Brežic in Čateža, in eno smrtno žrtev. V sosednjem Krškem je njegova intenziteta dosegla VII. stopnjo po MSK lestvici. Številne poškodbe hiš v Brežicah so bile posledica zelo slabe gradnje. Žarišče potresa je določeno na območju nekaj kilometrov severno od Brežic, medtem ko za žariščno globino obstaja več precej razhajajočih se ocen, ki segajo od 4 do 13 kilometrov.

Decembra 1989 in januarja 1990 se je v bližini Krškega zvrstil niz potresov, od katerih je najmočnejši imel magnitudo 4,3 in dosegel učinke VI. stopnje EMS-98. S postavitvijo začasnih opazovalnic na Trški Gori se je postopoma izboljšala natančnost opredelitve osnovnih potresnih parametrov in povečala občutljivost, ki je omogočala beleženje tudi šibkejših potresov.

Z začetkom delovanja opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2003 so lokacije žarišč v okolici Krškega določene z le nekaj kilometrsko negotovostjo in so zanesljive tudi za potrese magnitude $M=1,0$. Kljub izboljšanju opazovanja in bolj natančno opredeljenim parametrom, so žarišča potresov v Krškem polju še vedno zelo razpršena. Na podlagi dobro opredeljenih žariščnih globin potresov v tem obdobju lahko zaključimo, da je potresna aktivnost v Krškem polju omejena na zgornjih deset kilometrov zemeljske skorje. Potresi magnitude 3,0 in večji so nastajali na robnih območjih (Gorjanci, Krško hribovje).

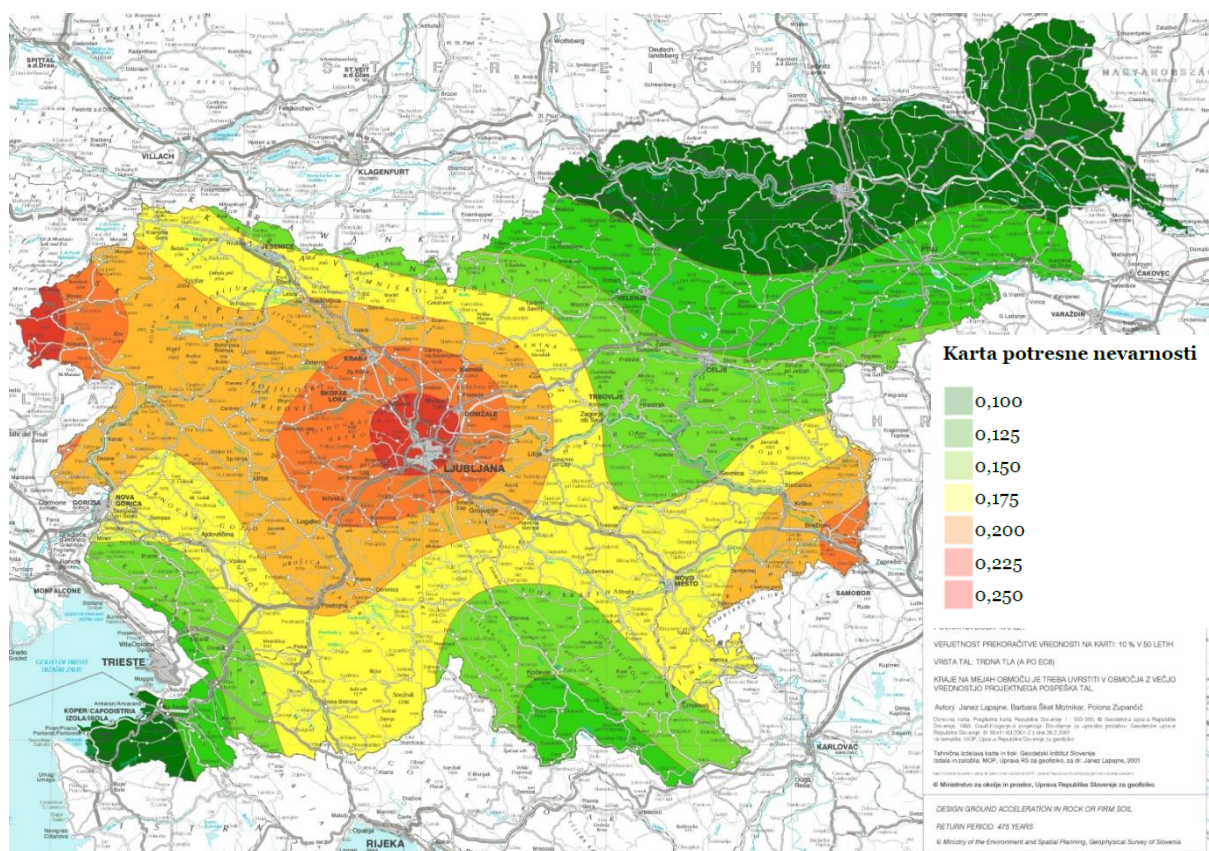
Ocena potresne nevarnosti odlagališča NSRAO v Vrbin pri Krškem sloni na ocenah potresne nevarnosti na lokaciji NEK, ki se nahaja v neposredni bližini. Zadnje ocene so bile izdelane v

letih 2004 in 2010. Za primerljivost potresne nevarnosti je torej pomembna tudi ugotovitev, da v zadnjih letih na področju, ki vpliva na potresno nevarnost NEK in odlagališča, ni bilo potresov, ki bi lahko vplivali na končno oceno.

Verjetno najpomembnejša seizmogeni struktura na širšem območju lokacije odlagališča NSRAO je Orliški prelom, ki je domnevno recentno aktiven. S tem pa je za oceno potresne nevarnosti najpomembnejši potresni izvor na širšem območju lokacije odlagališča [28].

Veljavna karta potresne nevarnosti Slovenije, ki je dostopna na spletni strani Agenciji RS za okolje (slika 4-35), kaže, da se lokacija odlagališča nahaja na območju z zahtevanim projektnim pospeškom tal 0,2g, za povratno dobo 475 let.

Merilo: 1 : 500 000



Slika 4-35: Karta potresne nevarnosti Slovenije – Projektni pospešek tal (Vir: Agencija RS za okolje, jan. 2019) [9].

Glede na to, da je odlagališče NSRAO zahteven objekt, smo se pri ocenjevanju potresne nevarnosti na lokaciji Vrbina oprli na obstoječo oceno potresne nevarnosti na lokaciji NEK. Na podlagi te ocene in novih vhodnih podatkov z območja same lokacije odlagališča NSRAO je bilo pripravljeno poročilo Izvedba seizmološke analize lokacije za objekt odlagališča NSRAO Vrbina [27]. Dokument je pripravila Agencija Republike Slovenije za okolje v marcu 2015 in predstavlja podporni dokument končne študije Seizmične obremenitve pripovršinskega odlagališča NSRAO Vrbina, iz katere izhajajo priporočila za projektiranje odlagališča NSRAO [29], ki pa je bila dopolnjena z določitvijo projektnih potresnih parametrov za izračun praznega

silosa [30]. Pri določanju seizmičnih obremenitev se upoštevajo tudi ugotovitve študije "Seismic Design Requirements for LILW Repository in Slovenia" [31].

Na področju vpliva lokalnih tal so bili pri modelu upoštevani rezultati novih terenskih raziskav, opravljenih po letu 2008. Analiza vpliva tal je bila narejena na podoben način kot v analizah potresne nevarnosti za NEK in v študiji iz leta 2008. Metodologija je bila nekoliko dopolnjena in razširjena, saj smo poleg povprečnih vrednosti spektrov pospeškov gibanja tal na različnih globinah določali tudi akceleroگرامe s komponentami v horizontalni in vertikalni smeri, potrebne za potresne analize silosa. Akceleroگرامi so določeni na globini 89 m. Za analize je bil uporabljen program SHAKE91. Kot vhodno gibanje na izdanku trdne kamnine (skale) je bilo upoštevanih šest normiranih akceleroگرامov.

Rezultati, ki se nanašajo na maksimalni pospešek na izdanku trdnih tal 0,43 g so pokazali, da pri večji intenziteti gibanja tal (pospešek 0,75 g) ni pomembnih sprememb pri vplivu tal. Iz tega razloga se lahko rezultati, dobljeni za maksimalni pospešek na izdanku trdnih tal 0,43 g, uporabijo za katerikoli večji pospešek (do 0,75 g) ob upoštevanju linearne korekcije. Za analizo objektov, pomembnih za jedrsko varnost med obratovanjem, je treba rezultate za potresne obremenitve 0,43 g, pomnožiti s faktorjem 1,10.

Za potrebe projektiranja in izvedbe silosa pa je potrebno upoštevati tri stanja, in sicer prazen silos, silos napolnjen do polovice in poln (zaprt) silos. Pri projektiranju za posamezna stanja se uporabljajo različne povratne dobe potresa. V vseh treh primerih se za dinamične analize uporabijo isti časovni poteki pospeškov, vendar različno normirani. Absolutne vrednosti PGA na izdanku trdnih tal in pripadajoči faktorji, s katerimi je treba pomnožiti akceleroگرامe, so naslednji:

- Prazen silos, zapolnjen največ do polovice (obratovalna doba 10 let): Povratna doba 1000 let, $PGA_{na\ izdanku\ trdne\ hribine} = 0,36g$, faktor = 0,84, $PGA_{na\ površini} = 0,42g$
- Silos, poln vsaj do polovice (obratovalna doba 50 let): Povratna doba 2500 let, $PGA_{na\ izdanku\ trdne\ hribine} = 0,47g$, faktor = 1,10, $PGA_{na\ površini} = 0,55g$
- Poln (zaprt) silos: Povratna doba potresa 15000 let, $PGA_{na\ izdanku\ trdne\ hribine} = 0,75g$, faktor = 1,75, $PGA_{na\ površini} = 0,87g$

Zaradi vpliva lokalnih tal se pospeški na površini povečajo v primerjavi s pospeški na izdanku skale. Pospeški se zmanjšujejo z globino. Primerjava s spektri po Evrokodu 8 je pokazala, da je za analize »nejedrskih« objektov najbolj primeren spekter za tla tipa C.

Projektni pospeški tal za »nejedrske« objekte (NEPOM SSK) po EC8 znašajo 0,24g. Za neodlagalne objekte, ki so opredeljeni kot POM SSK pa so opredeljeni enaki pospeški tal kot za silos poln vsaj do polovice, torej s povratno dobo 2500 let.

Predlagani parametri za potresno analizo objektov odlagališča NSRAO so bili pridobljeni na način, da so upoštevali predhodno določene vplive lokalnih tal. Podane so osnovne zveze med verjetnostjo prekoračitve izbrane velikosti potresnega vpliva, povratno dobo in življenjsko dobo objekta ter zveze med faktorjem pomembnosti in povratno dobo za lokacijo Vrblina. Od vseh pregledanih dokumentov je za uporabo najprimernejši ameriški standard ASCE 43-05, ki obravnava kriterije za potresno projektiranje konstrukcij, sistemov in komponent v jedrskih objektih. ASCE 43-05 lahko uporabimo kot osnovo za potresno projektiranje tistih objektov v sklopu NSRAO Vrblina, ki so pomembni za jedrsko varnost.

Objekti v sklopu odlagališča NSRAO so razdeljeni na objekte, ki so pomembni za jedrsko varnost, in tiste, ki niso. Za objekte, ki so pomembni za jedrsko varnost, je predvidena projektna življenjska doba 50 let, z izjemo odlagalnega silosa po obratovanju, za katerega je predvidena

projektna življenjska doba 300 let. To pa pomeni, da se za dimenzioniranje silosa upošteva potres s povratno dobo 15.000 let (obratovalna doba 300 let) in PGA na izdanku trdne hribine 0,75g.

Predlagano je, da se pri projektiranju NSRAO na lokaciji Vrbina uporabijo naslednji projektni potresni parametri in postopki (Tabela 4-6):

1. Izhodiščni podatki za potresno nevarnost na izdanku trdnih tal so podani v študiji potresne nevarnosti za NEK [32], faktor povečanja potresne nevarnosti zaradi novih spoznanj ($f=1,44$) pa v študiji ARSO [27]. Na podlagi teh podatkov znaša maksimalni pospešek tal na izdanku trdnih tal $PGA = 0,47 \text{ g}$ za povratno dobo 2500 let in $PGA = 0,75 \text{ g}$ za 15000 let.
2. Vpliv lokalnih tal za jedrske objekte (razen silosa) se upošteva s spektrom, dobljenim z analizo vpliva tal. Spektre za povratno dobo 2500 let je prikazan na Sliki 4-35, numerične vrednosti so podane v Tabeli 4-6.
3. Objekte, ki niso pomembni za jedrsko varnost, se projektira v skladu z Evrokodi. Uporabi se spekter za tip tal C. Faktor pomembnosti znaša 1,2.
4. Objekte, ki so pomembni za jedrsko varnost, se v načelu projektira v skladu s standardom ASCE 43-05, pri čemer se namesto ameriških standardov za običajne objekte, na katere se sklicuje ASCE 43-05, smiselno uporabijo evropski in slovenski standardi Evrokod. Kot projektni potres se uporabi potres s povratno dobo 2500 let. Za DF faktor, s katerim se množi potresna obremenitev, se vzame vrednost 1,0.
5. Odlagalni silos, ki je pomemben za jedrsko varnost, ima v fazi, ko je še prazen, upoštevano dobo "obratovanja" 10 let. V fazi obratovanja (odlaganja odpadkov) ima projektno življenjsko dobo 50 let, tako kot ostali „jedrski“ objekti v sklopu NSRAO Vrbina, po zaprtju pa 300 let. Za fazo, ko je silos še prazen, se za izračune upošteva projektni potres s povratno dobo 1000 let. Za fazo obratovanja se projektira tako kot ostale „jedrske“ objekte z življenjsko dobo 50 let, to je s projektnim potresom za povratno dobo 2500 let. V fazi po zaprtju se projektira s potresom z večjo povratno dobo, in sicer 15000 let. V fazi po zaprtju je odlagalni silos v celoti zapolnjen in nima več zgornjega dela, zato je za analize potreben drugačen matematični model konstrukcije.
6. Za vsak posamezni objekt je treba glede na njegovo funkcijo in nevarnost, ki jo odpoved njegovega delovanja povzroča za življenja in okolico, določiti ustrezno mejno stanje. Od definicije mejnega stanja so odvisni faktorji za redukcijo potresne obtežbe (za jedrske objekte so njihove vrednosti podane v ASCE 43-05) in načini določanja kapacitete posameznih nosilnih elementov.
7. Pri projektiranju po ASCE 43-05 je implicitno predpostavljeno, da bo zaradi raznih konservativnosti v fazi projektiranja dosežena štirikrat manjša verjetnost odpovedi delovanja (0,5 % v celotni življenjski dobi) kot je verjetnost prekoračitve projektnega potresa (2 % v celotni življenjski dobi). Sodobne metode omogočajo, da se oceni dejanska verjetnost odpovedi delovanja. Priporoča se, da se pri projektiranih objektih oceni ta verjetnost s pomočjo krivulj ranljivosti (fragility curves), s katerimi je mogoče kvantitativno ovrednotiti potresno varnost (seismic margins). To je mogoče in smiselno narediti že v fazi projektiranja objektov.

Pregled projektnih parametrov je podan v Tabeli 4-7.

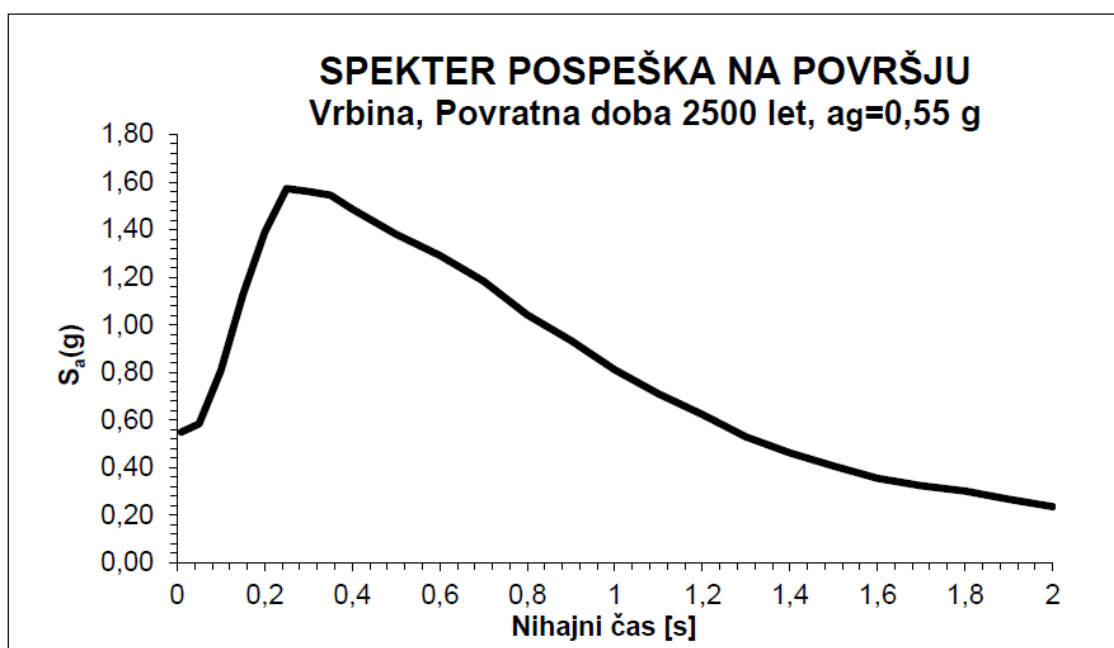
Tabela 4-6. Spekter pospeškov na površju tal na lokaciji Vrbina za račun objektov, pomembnih za jedrsko varnost

T [s]	0	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6	0.7
$S_{ae}[g]$	0.55	0.55	0.58	0.81	1.13	1.39	1.57	1.56	1.55	1.49	1.38	1.29	1.18

T [s]	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$S_{ae}[g]$	1.04	0.93	0.81	0.71	0.62	0.53	0.46	0.41	0.35	0.32	0.30	0.27	0.24

Tabela 4-7: Pregled projektnih parametrov

Objekt	Projektna življenjska doba (let)	Povratna doba projektnega potresa (let)	Projektni faktor (DF) Faktor pomembnosti γ_I	Efektivna povratna doba potresa (let)	PGA na površini izdanka trdnih tal (g)	Faktor tal za PGA	PGA na površini dejanskih tal (g)	Spekter
Silos v obratovanju	50	2500	DF = 1	2500	0.47	1.16	0.55	za lokacijo
Silos po zaprtju	300	15000	DF= 1	15000	0.75	1.16	0.87	za lokacijo
»Jedrski« objekti	50	2500	DF= 1	2500	0.47	1.16	0.55	za lokacijo
»Nejedrski« objekti	50	475	$\gamma_I = 1.2$	800	0.24	1.15	0.28	EC8, tip tal C



Slika 4-36: Spekter pospeškov na površju tal na lokaciji Vrbina za račun objektov, pomembnih za jedrsko varnost.

Na spletni strani Uprave RS za jedrsko varnost [33] pod rubriko "O potresni nevarnosti NEK", je zaradi interesa javnosti, dostopna aktualna dokumentacija z izmenjavo strokovnih stališč na temo potresne varnosti obravnavanega območja.

4.6 Radiološke značilnosti območja lokacije odlagališča in ničelno stanje

4.6.1 RADIOLOŠKE IN GEOKEMIČNE LASTNOSTI

Geokemična karakterizacija geološkega okolja je bila izvedena v okviru treh faz terenskih raziskav geo in hidrosfere za potrebe odlagališča NSRAO Vrbina, Krško.

Rezultati izvedenih preiskav opredeljujejo zemljine na lokaciji Vrbina kot rahlo bazične. Vrednosti pH v splošnem nekoliko naraščajo z globino in se gibljejo med 8,0 in 9,1 kar je v skladu s pričakovanji, glede na mineraloško sestavo. Od glavnih prvin so bile določene vsebnosti natrija, kalija, kalcija, aluminija, magnezija, železa in mangana. Vsebnost organskih snovi se z globino praktično ne spreminja in je ocenjena kot nizka. Od slednih prvin so bile določene vsebnosti kadmija, bakra, niklja, kroma, kobalta, arzena in cinka. Te v preiskovanih zemljinah ne presegajo imisijske mejne vrednosti, določene za posamezno kovino. Specifična površina preiskovanih vzorcev zemljin miocenske starosti je nizka in se giblje med 30 in 42 m²/g. Podobno velja tudi za kationsko izmenjalno kapaciteto, ki je za potencialno (določena pri konstantnem pH) v območju od 7,5 do 8,5 cmol⁺/kg (centimol pozitivnega naboja na kilogram suhe zemljine), za efektivno (določena brez vpliva na pH) pa v nekoliko širšem območju, od 6,2 do 10,6 cmol⁺/kg. To so vrednosti, ki so značilne za prisotnost mineralov illita in kaolinita. Opravljeni so bili sorpcijski testi za sorpcijo Sb³⁺, Pb²⁺ in Zn²⁺, ter podani kvantitativni rezultati v obliki linearnih in nelinearnih sorpcijskih izoterm. V zemljini prisotno železo tako imobilizira Sb, Zn in Pb, podobno pa tudi prisotni karbonati imobilizirajo Pb. Ob delnem raztapljanju in precipitiranju Fe mineralov in alumosilikatov nastaja še več prostih sorpcijskih mest, ki jih je lahko zasedejo nevezani kationi, zaradi česar je njihov transport skozi miocenske sedimente še bolj upočasnen. Na podlagi opravljenih raziskav izluževanja tako z destilirano vodo kot tudi s podzemno vodo je ocenjeno, da je topnost na obravnavani lokaciji nizka in da je pora voda v ravnotežju z zemljino (sedimentom). Ocenjeno je, da procesi raztapljanja karbonatnih in drugih prisotnih mineralov v naravnih pogojih potekajo le v manjši meri. V močno kislih pogojih prihaja do raztapljanja in s tem povezanega izluževanja Ca in Mn ter tudi Fe in Si, pri čemer zemljina izkazuje visoko pufno sposobnost (sposobnost nevtralizacije).

Na podlagi hidrogeološke in geokemične interpretacije rezultatov nabora opravljenih analiz podzemne vode in zemljin, je podana naslednja interpretacija razmer v podzemni vodi na območju Vrbine. Kemizem podzemne vode je vezan na prostorsko raztezanje vodonosnih struktur; glede na hidrogeokemične razmere ločimo plitev holocensko kvartarni vodonosnik in globoke vodonosne strukture v miocenskih plasteh. Za holocensko kvartarni vodonosnik je značilna hidrogeokemija sistema tipa vod Ca²⁺ - Mg²⁺ - HCO³⁻, ki se nahajajo v plitvem vodonosniku, ki ga opredelimo kot hidrodinamsko in termodinamsko odprt sistem. Te vode so v ravnotežju s talnim CO₂. Plitve vode so, glede na karbonatne minerale, podnasičene, v vodah je zaznaven vpliv nekarbonatnih mineralov. Plitvi vodonosnik opredeljujemo kot območje

prehoda iz oksidacijskih v redukcijske pogoje. Posebno skupino znotraj plitvega vodonosnika tvorijo vode, zajete z vrtinami, ki sta pod vplivom odlagališča komunalnih odpadkov. Za globok miocenski akviklud so značilni tipi vod Na^+ - Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-} , kjer pa razmerje med glavnimi komponentami ni stabilno. To vodonosno strukturo opredelimo kot hidrodinamsko zaprt vodonosnik in termodinamski sistem, v katerem ni neposredne izmenjave mase s površjem. Zanj je značilen bazičen kemizem podzemne vode, ki je posledica prisotne združbe mineralov v sedimentu; terenske meritve in rezultati geokemijskih simulacij kažejo na $\text{pH} > 8,5$. Povprečne pH vrednosti se nahajajo na intervalu $9,0 < \text{pH} < 9,5$. V globoki vodonosni strukturi miocena je zaznana visoko prenasajenje podzemne vode glede na nekatere kalijeve minerale (sljude, biotit), vode so prenasajene tudi glede na karbonatne minerale (dolomit in kalcit). Podzemne vode v tej strukturi se nahajajo v izrazito redukcijskih razmerah. Za globoko vodonosno strukturo je značilen zelo nizek parcialni tlak CO_2 , kar potrjuje prisotnost zaprte vodonosne strukture [15].

4.6.2 LASTNOSTI MELJEV

Vzorci zemljin, odvzeti v vrtinah, so melji, ki predvsem v zgornjem delu prehajajo v bolj peščene ali glinene različke. V njih prevladujejo karbonatni minerali (dolomit in kalcit), kremen, glinenec in muskovit. Glinenih mineralov je malo (4-12 mas%). V vseh vzorcih je bilo tudi identificirano nekoliko kalcijevskega montmorillonita. Vsebnosti glavnih in slednih prvin v jedru vrtin so v skladu s pričakovanji na obravnavanem ozemlju. Primerjava povprečnih vsebnosti glavnih prvin v vzorcih jeder iz vrtin z vsebnostjo v povprečnem muljevcu in s povprečnimi vrednostmi v slovenskih in evropskih tleh je pokazala, da obravnavani vzorci vsebujejo bistveno (za več redov velikosti) manj natrija, kalija, ter nekaj manj aluminija, železa in mangana. Obenem pa vsebujejo precej več kalcija in magnezija. To je posledica večinoma karbonatnega porečja reke Save, tako da so opisane vsebnosti pričakovane. Primerjava slednih prvin v vzorcih jeder s sestavo povprečnega muljevca ter s povprečnimi vrednostmi v slovenskih in evropskih tleh jasno kaže, da so vsebnosti kadmija, bakra, kroma in molibdena manjše ali enake ocenjenim povprečjem. Višje od povprečja evropskih tal so vsebnosti niklja in cinka. Nekoliko višje od povprečja slovenskih in evropskih tal pa so vsebnosti arzena. Za potrebe izdelave kasnejših varnostnih ocen smo vzorcem zemljine določili tudi bistvene parametre, ki kontrolirajo nekatere procese migracije radionuklidov skozi geosfero: specifično površino zrn, kationsko izmenjalno kapaciteto, aktivnost, vsebnost organskih snovi in konstanto porazdelitve K_d .

Specifična površina melja je majhna (večinoma med 15 in 35 m^2/g) in je primerljiva s kaolinitom oziroma ilitom. Potencialna kationska izmenjalna kapaciteta preiskanih vzorcev je nizka in se po globini vrtnice praktično ne spreminja. Podobno je tudi pri efektivni kationski izmenjalni kapaciteti, ki je od potencialne višja za faktor 2, z nekoliko večjim nihanjem po globini. Po aktivnosti bi jo lahko uvrstili v kaolinit. Kot dominantni izmenjalni kation se kaže kalcij, kateremu sledi magnezij. Koncentracija izmenljivega kalcija je najvišja v zgornjem sloju, nato pa se ponovno poviša šele v globini 119 m, kjer se poveča tudi koncentracija izmenljivega magnezija.

Vsebnost organskih snovi v vzorcih je bila nizka.

Najnižjo aktivnost (sorpcijo) lahko pričakujemo južno od lokacije odlagališča, višje pa severno od lokacije. Za elemente, sorodne Pb lahko privzamemo vrednost 1800 L/kg. Za elemente, sorodne Sb pa Kd vrednost 45 L/kg. Za elemente, sorodne Zn, je ocenjeni Kd 200 L/kg.

Na podlagi opravljenih raziskav izluževanja lahko ocenimo, da je topnost na obravnavani lokaciji nizka in da je pora voda v ravnotežju z zemljino in procesi raztapljanja karbonatnih mineralov potekajo le v manjši meri.

Rezultati radioloških meritev vzorcev zemljine iz različnih globin kažejo pričakovano radiološko sliko s krško-brežiškega področja. Z globino koncentracija K-40 narašča, najvišja je v globini 100 m, (650 ± 60) Bq/kg. Koncentracije radionuklidov iz razpadnih verig urana U-238 in torija Th-232 (Ra-228) se z globino ne spreminjajo, kar potrjuje splošno dognanje, da so naravni radionuklidi v zemlji porazdeljeni enakomerno. Njihove koncentracije se ne razlikujejo od koncentracij, ki so izmerjene na površini na krško-brežiškem območju. Koncentracija Cs-137 je bila v vseh vzorcih pod mejo kvantifikacije. Koncentracija Sr-90/Sr-89 se z globino znižuje, najvišja je v globini 0,1 m $(2,6 \pm 0,2)$ Bq/kg, kar je primerljivo s povprečno specifično aktivnostjo radionuklida Sr-90/Sr-89, po globini zemlje - do 15 cm.

4.6.3 KEMIJSKA SESTAVA IN RADIOLOŠKE ZNAČILNOSTI PODZEMNE VODE

Kemizem in agresivnost podzemne vode

Na osnovi vseh zbranih rezultatov, ki vključujejo tudi podatke, pridobljene v okviru monitoringa kemijskega stanja podzemne vode MOP/ARSO, smo v kvartarnem vodonosniku identificirali dve območji s podobnimi značilnostmi mineralizacije podzemne vode na širšem območju Vrbine:

- bogatejša mineralizirana voda (z mineralizacijo 500-630mg/l), v območju severnega dela lokacije odlagališča (bolj oddaljen od Save) in
- manj mineralizirana voda (z mineralizacijo 300-450mg/l), v južnem delu območja.

Rezultati analiz vode iz vrtin v bližini odlagališča komunalnih odpadkov se razlikujejo od ostalih.

Osnovne sestavine podzemne vode iz miocenskih plasti so povsem drugačne od tistih v kvartarnih plasteh. Njena mineralizacija je manjša. Prevladuje uravnotežena kombinacija kationov kalcija/natrija/magnezija in prevladujočih anionov hidrogenkarbonata; pomembna pa sta še deleža sulfata in klorida. Ugotovljene so bile tudi povišane vrednosti amonija. Redoksne razmere v tej vodi omogočajo nastanek nitrita.

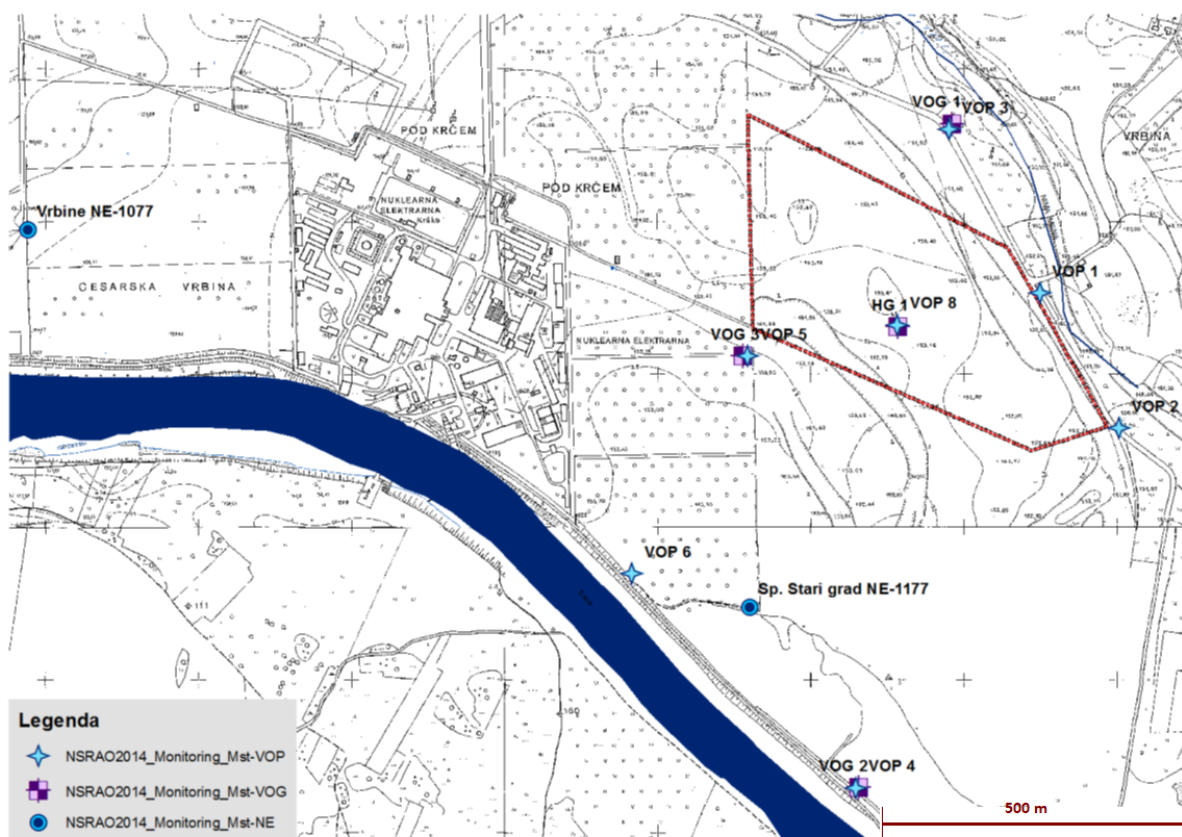
V vodah iz kvartarnega vodonosnika določajo mineraloško sestavo vode kationi: natrij/kalij/kalcij/magnezij in med anioni hidrogenkarbonat/sulfat/klorid. Med spojinami dušika se pojavlja v teh vrtinah le nitrat. Voda v vrtinah, ki sta blizu odlagališča komunalnih odpadkov, vsebuje tudi fluorid, ki je drugod na meji detekcije. Ugotovljeni so tudi pesticidi in težke kovine, vendar v dovoljenih koncentracijah.

Na osnovi rezultata za vsebnost agresivnega CO₂ se uvršča voda iz miocenskih sedimentov v drugo stopnjo: XA2 - zmerno agresivno kemično okolje, oziroma XA1 - malo agresivno kemično okolje.

Radiološke značilnosti

Rezultati radioloških meritev podtalnice, ki so bile izvede v okviru raziskav za potrebe odlagališča NSRAO, iz kvartarnega vodonosnika kažejo pričakovano radiološko sliko sevalcev

gama in Sr-90/Sr-89 (merska metoda za določanje stroncija ne omogoča ločenega merjenja izotopov Sr-89 in Sr-90, zato se izmerjena vrednost nanaša na skupno aktivnost obeh izotopov), ki je značilna za podtalnico s krško – brežiškega področja. Nekoliko višje so le koncentracije K-40, ki je posledica splošne razširjenosti kalija v vrhnji plasti zemlje. Koncentracija Ra-226 se znatno ne razlikuje od slovenskega povprečja. Koncentracija Cs-137 v vzorcih je bila pod mejo detekcije. Izmerjena koncentracija Sr-89/Sr-90 v podzemni vodi iz vrtine VOP-5 je med $3,9 \text{ Bq/m}^3$ in $4,4 \text{ Bq/m}^3$, kar je primerljivo s koncentracijo aktivnosti Sr-89/Sr-90 v vrtini E1, ki se nadzoruje v okviru rednega nadzora NEK. Koncentracija aktivnosti Sr-89/Sr-90 v vodi iz vrtin HG-1 in VOG-3 je pod $0,4 \text{ Bq/m}^3$, je primerljiva s koncentracijo aktivnosti $0,5 \text{ Bq/m}^3$ v krških črpališčih, ki se nadzorujejo v okviru obratovalnega monitoringa NEK [34].



Slika 4-37: Lokacije vzorčevanja podzemnih vod.

Izmerjena koncentracija aktivnosti tritija, H-3, je od $1,2 \text{ kBq/m}^3$ do $2,5 \text{ kBq/m}^3$ v vodi iz vrtine VOP-5, medtem ko je koncentracija aktivnosti H-3 v HG-1 in VOG-3 pod mejo detekcije. Povezavo med tekočinskimi izpusti iz NEK in vodo iz vrtin navadno opažamo pri vrtini VOP-4, ki je na levem bregu reke Save, 600 m dolvodno od jezga NEK, prav tako pa je v rednem obratovalnem nadzoru NEK. Letna povprečna koncentracija aktivnosti tritija v vrtini VOP-4 v letu 2013 je bila $4,4 \text{ kBq/m}^3$. V letu 2014 so v juliju, avgustu in septembru izmerili koncentracije aktivnosti H-3 v vodi iz VOP-4: $2,3 \text{ kBq/m}^3$, $1,4 \text{ kBq/m}^3$ in $2,1 \text{ kBq/m}^3$. Tudi koncentracije aktivnosti H-3 v vrtinah VOP-1 in VOP-3, izmerjene julija, avgusta in septembra 2014, kažejo podoben časovni trend kot pri VOP-5. Vrtini VOP-1 in VOP-3 sta od Save oddaljeni nekaj 100 m, tako da bi morebitni vpliv tekočinskih izpustov domnevno lahko zaznali z zakasnitvijo, česar pa iz rezultatov meritev, ne moremo sklepati.

V povprečju se koncentracija aktivnosti H-3 v okolju (reke, padavine) v Sloveniji v okviru merske negotovosti giblje okoli 1 000 Bq/m³, vendar pa lahko sezonsko niha tudi do 2 000 Bq/m³. Vsebnosti H-3 v vodi iz VOP-5 je primerljiva z letnim povprečjem H-3, 1600 Bq/m³ za leto 2013 v črpališču Brege. Vrednosti za tritij so tako v okviru pričakovanih za to območje in so sprejemljive so tudi za pitno vodo.

Rezultati meritev kažejo radiološko sliko, ki je značilna za vodovode in črpališča na krško-brežiškem področju, za vse sevalce gama. Nekoliko je povečana le specifična aktivnost Ra-226.

Obsežnejše in bolj kontinuirane analize vzorcev vode se izvajajo v okviru nadzora radioaktivnosti v okolici NEK. Na vzorcih vode iz vrtin (in reke Save), se izvaja določanje koncentracije aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG), določanje koncentracije aktivnosti tritija (H-3) s tekočinsko scintilacijsko spektrometrijo in določanje koncentracije aktivnosti Sr-90/Sr-89 z radiokemično separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama [35]. Rezultati teh raziskav so upoštevani v poglavju 4.6.4.

Hidrogeološke značilnosti

Rezultati kemijskih analiz kažejo, da preiskovane vode izhajajo iz dveh hidrogeoloških enot:

- iz kvartarnega prodno peščenega vodonosnika in
- iz miocenskega meljnega akvikluda.

Po pričakovanjih se vzorci iz obeh enot bistveno razlikujejo, kar je utemeljeno s klasifikacijo kemizma po Jäckliju in z grafično upodobitvijo D'Amorejevih parametrov. Vzorci iz kvartarnega vodonosnika kažejo na vodo iz karbonatnega vodonosnika, vzorci iz miocenskega akvikluda pa kažejo na klastični tip vode z značilnima komponentama Na in HCO₃. Mineralizacija je v miocenskem akvikludu bistveno nižja kot v kvartarnem vodonosniku, razen tam, kjer je vodonosnik podvržen infiltraciji nižje mineralizirane površinske vode iz Save.

4.6.4 NIČELNI MONITORING RADIOLOŠKEGA STANJA NA LOKACIJI NSRAO IN V NJENI OKOLICI

V okviru posnetka stanja okolja pred posegom v prostor, so bile izvedene tudi ničelne meritve radiološkega stanja na lokaciji Vrbin [36]. V okviru teh meritev so bile poleg meritev zunanjega sevanja na mestu, kjer bo zgrajeno odlagališče NSRAO, opravljene še meritve radioaktivnosti zraka, deževnice, podtalnice in zemlje v neposredni bližini lokacije. Na širšem območju lokacije pa so bile izvedene meritve radioaktivnosti pitne vode, hrane in rečne vode ter sedimenta v reki Savi. Analizo ničelnega stanja smo dopolnili s pomočjo meritev in analiz, ki jih za potrebe nadzora radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško [35], izvaja NEK.

Reka Sava

Vzorčenje je potekalo na levem bregu sotočno od Nuklearne elektrarne Krško na lokaciji Vrbin. Na tem mestu so bili odvzeti vzorci vode in sedimentov.

Rezultati meritev vzorcev vode in sedimentov niso pokazali odstopanj od vrednosti, ki so značilne za druge lokacije na reki Savi, ki se v okviru monitoringa radioaktivnosti izvaja za Nuklearno elektrarno Krško [34]. Na tej lokaciji lahko zaradi vpliva NEK izmerimo povišano

koncentracijo tritija, ki je primerljiva z izmerjeno koncentracijo v Brežicah. Koncentracije drugih umetnih in naravnih radionuklidov so podobne, kot jih izmerimo drugod po Sloveniji [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK se izvaja kontinuirno vzorčevanje med ostalimi tudi na naslednjih lokacijah: Krško – 3,2 km gorvodno, nad jezo HE Brežice – 7,2 km dolvodno in Brežice – 8,2 km dolvodno in to za dolgožive radionuklide. Odvzeti so tudi enkratni vzorci nefiltrirane vode v Krškem, levem in desnem bregu akumulacijskega jezera, v nadomestnem habitatu, nad jezo HE Brežice in Brežicah za kratkožive radionuklide. Odvzame se enkratni četrletni vzorci reke Save v Krškem in Brežicah. Izvaja se tudi vzorčevanje sedimentov naslednjih lokacijah: Krško gorvodno, pod jezo NEK, Pesje, na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice, nad jezo HE Brežice in Brežice. Odvzeti so tudi vzorci rib: Krško, akumulacijsko jezero in Brežice. Zaradi izgradnje HE Brežice 7,2 km dolvodno od NEK so bile dodane vzorčevalne lokacije vode, sedimentov in rib med jezovomama NEK in HE Brežice.

Iz poročila o monitoringu radioaktivnosti NEK za leto 2017 [35] izhaja, da je tritij redno prisoten v tekočinskih efluentih NEK. Največji mesečni tekočinski izpust H-3 v letu 2017 je bil v decembru (4,2 TBq). Skupni letni izpust 8,6 TBq je nižji od dolgoletnega povprečja, ki znaša od leta 1999 do 2017, 12,3 TBq.

Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti H-3 nad jezo HE Brežice $2,3 \text{ kBq/m}^3$ (povprečje druge polovice leta) je višja od referenčnega odvzemnega mesta Krško $0,59 \text{ kBq/m}^3$. V Brežicah je bila povprečna mesečna koncentracija aktivnosti $2,5 \text{ kBq/m}^3$, kar je zelo podobno kot nad jezo HE Brežice. Povprečna koncentracija aktivnosti je nižja od dolgoletnega povprečja $4,2 \text{ kBq/m}^3$ zadnjih 14 let. Najvišja vrednost mesečnih povprečij v Brežicah je bila v juniju $9,0 \text{ kBq/m}^3$, medtem ko je bila v tem obdobju koncentracija aktivnosti na referenčnem odvzemu Krško $0,8 \text{ kBq/m}^3$.

Meritve enkratnih vzorcev vode nad HE Brežice nakazujejo na možnost, da še ni dobro znan vpliv novih hidrodinamskih razmer na mešanje efluentov v reki Savi, predvsem v akumulacijskem jezeru. Na podlagi rezultatov meritev enkratnih vzorcev vode obstaja možnost, da so neposredno po izpustu koncentracije izpuščenih radionuklidov na desnem bregu akumulacijskega jezera višje kot na levem. Pričakovali pa bi višje izmerjene vrednosti na levem bregu, saj je kanal za izpuščanje radioaktivnih tekočin iz NEK na levem bregu. Tudi kontinuirni vzorčevalni postaji HE Brežice in Brežice, ki se uporabljata za vrednotenje mesečnih in letnih vplivov, zajemata vodo na levem bregu.

Skupna letna izpuščena aktivnost C-14 v Savo v letu 2017 je bila $0,13 \text{ GBq}$. To je za red velikosti manj kot v preteklih letih. Ob tem je potrebno poudariti, da v tem letu ni bilo remonta v NEK.

C-14 je bil v letu 2017 merjen v savski vodi in v ribah. Na lokacijah na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice so bili odvzeti enkratni vzorci vode v zadnjih dveh četrletjih. Povprečna koncentracija aktivnosti C-14 na desni obali akumulacijskega jezera je bila $86,4 \text{ pMC}$ ($9,8 \text{ Bq/m}^3$ vode) kar je enako, kot je bila povprečna koncentracija na levi obali $87,6 \text{ pMC}$ ($9,9 \text{ Bq/m}^3$ vode). Izmerjena relativna specifična aktivnost C-14 v ribi, ki je bila ulovljena v akumulacijskem jezeru HE Brežice, je bila 93 pMC . To je nižje od navadne atmosferske aktivnosti C-14, ki je $\approx 103 \text{ pMC}$.

V tem letu ni bilo izmerjenih izpustov I-131 iz NEK. I-131 je redno prisoten na vseh nadzornih mestih reke Save, tako gorvodno od elektrarne kot dolvodno v Brežicah. Povprečna koncentracija aktivnosti I-131 v enkratnih vzorcih je bila od 1,6 Bq/m³ do 4,7 Bq/m³ in je bila najvišja na odvzemnem mestu na levem bregu jezera HE Brežice. Najvišja posamična vrednost se ni bistveno odmikala od najvišje posamične izmerjene vrednosti na referenčnem mestu v Krškem (7,5 Bq/m³). V okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS so bile meritve na reki Savi v Brežicah podobne kot v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK in so tudi primerljive z dolgoletnim povprečjem 4,4 Bq/m³ v Brežicah.

V vzorcih rib iz referenčnega odvzema (v Krškem nad jezom) in tudi v vzorcih iz nadzornih odvzemnih mest pod jezom NEK ni bila zaznana prisotnost I-131, kar je enako kot v preteklih letih.

Letni tekočinski izpust Cs-137 iz NEK v reko Savo je v letu 2017 znašal 1,0 MBq, kar je podobno kot v letu 2016.

Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v rečni vodi je bila na referenčnem mestu v Krškem pod 0,09 Bq/m³ (v vseh vzorcih je bila poročana vrednost pod mejo detekcije), v Brežicah 0,22 Bq/m³, na HE Brežice pa je bila 0,29 Bq/m³ (v vseh vzorcih je bila poročana vrednost pod mejo detekcije), na levem bregu reke Save nad jezom HE Brežice je bila 0,2 Bq/m³, na desnem bregu pa pod mejo detekcije. Vsebnost Cs-137 v reki Savi pripisujemo globalni kontaminaciji, saj je izračunani prirastek koncentracije aktivnosti Cs-137 v Brežicah, če upoštevamo letne tekočinske izpuste, povprečni pretok Save in privzamemo razredčitveno razmerje na levem bregu v Brežicah, 0,2 mBq/m³. Tega prispevka ni mogoče ločiti od nehomogeno porazdeljene globalne kontaminacije.

Izmerjena koncentracija aktivnosti Cs-137 v rekah po Sloveniji variira glede na lokacijo vzorčevanja, najvišja je bila (1,1 ± 0,1) Bq/m³ v reki Dravi. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v letu 2017 je bila od 0,08 Bq/m³ v Savi Brežice in do 0,81 Bq/m³ v Dravi. Povprečni koncentracij aktivnosti Cs-137 v Kolpi in Soči smo izvzeli, saj gre v obeh primerih za kombinacijo merskega rezultata, ki je bil pod mejo kvantifikacije in merskega rezultata, ko radionuklid ni bil detektiran.

Povprečna specifična aktivnost radioaktivnega cezija v obrežnih sedimentih je bila v Krškem (pod mostom) 4,8 Bq/kg, pod jezom NEK 7,2 Bq/kg, na levem bregu jezera HE Brežice (Pesje) 5,0 Bq/kg in v Brežicah 3,5 Bq/kg.. Specifična aktivnost cezija se v sedimentu na vseh lokacijah z leti sistematično zmanjšuje, kar je povezano z razpadom izotopa (iz globalne kontaminacije) ter istočasno z izpiranjem talnega sedimenta. V letu 2017 je izjema lokacija pod jezom NEK, kjer pa se občasno (2003, 2010) pojavijo odmiki od splošne usmeritve zniževanja vrednosti.

Povprečne mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v ribah so od 0,04 Bq/kg do 0,11 Bq/kg, pri čemer je bila poročana specifična aktivnost Cs-137 v ribah pod mejo kvantifikacije v 14 primerih od 19 na vseh lokacijah od referenčne v Krškem do Jesenic na Dolenjskem. Najvišja vrednost na referenčnem mestu v Krškem pred NEK je bila 0,038 Bq/kg, v akumulaciji HE Brežice 0,15 Bq/kg, v Brežicah 0,019 Bq/kg, v Jesenicah na Dolenjskem pa je bila specifična aktivnost Cs-137 v ribah pod mejo detekcije v vseh vzorcih.

Radioaktivni stroncij (Sr-90) je redno izmerjen v tekočinskih izpustih NEK. V letu 2017 je bila izpuščena aktivnost v reko Savo 0,13 MBq (0,07 MBq v letu 2016, 0,08 MBq v letu 2015, 0,16 MBq v letu 2014).

Sr-90 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško v podobni povprečni koncentraciji aktivnosti $1,7 \text{ Bq/m}^3$ kot v nadzornem mestu nad jezo HE Brežice $1,8 \text{ Bq/m}^3$ in v Brežicah $2,7 \text{ Bq/m}^3$. Koncentracije aktivnosti Sr-90 v enkratnih vzorcih vode (nefiltrirani vzorci) so zelo podobne kot v kontinuirnih vzorcih filtrirane vode. Na vseh lokacijah so četrletna povprečja od $2,4 \text{ Bq/m}^3$ do $4,8 \text{ Bq/m}^3$. Najvišja posamična izmerjena vrednost je bila nad jezo HE Brežice $6,5 \text{ Bq/m}^3$.

Povprečne koncentracije aktivnosti stroncija v drugih rekah po Sloveniji so podobne ali višje, kot jih lahko izmerimo v Savi v okolici NEK. Povprečna koncentracija, izmerjena v Savi na lokaciji Laze pri Ljubljani, je bila $2,8 \text{ Bq/m}^3$, v reki Muri $2,2 \text{ Bq/m}^3$ in v Dravi $1,5 \text{ Bq/m}^3$.

Specifične aktivnosti stroncija v obrežnih sedimentih so tipično nižje od specifičnih aktivnosti cezija. Povprečne aktivnosti so bile $1,6 \text{ Bq/kg}$ v Krškem, $0,1 \text{ Bq/kg}$ na levem bregu jezera HE Brežice, $1,7 \text{ Bq/kg}$ na desnem bregu jezera HE Brežice in $1,0 \text{ Bq/kg}$ v Brežicah. Specifična aktivnost stroncija v obrežnem sedimentu je bila v letu 2017 primerljiva z rezultati meritev iz predhodnih let.

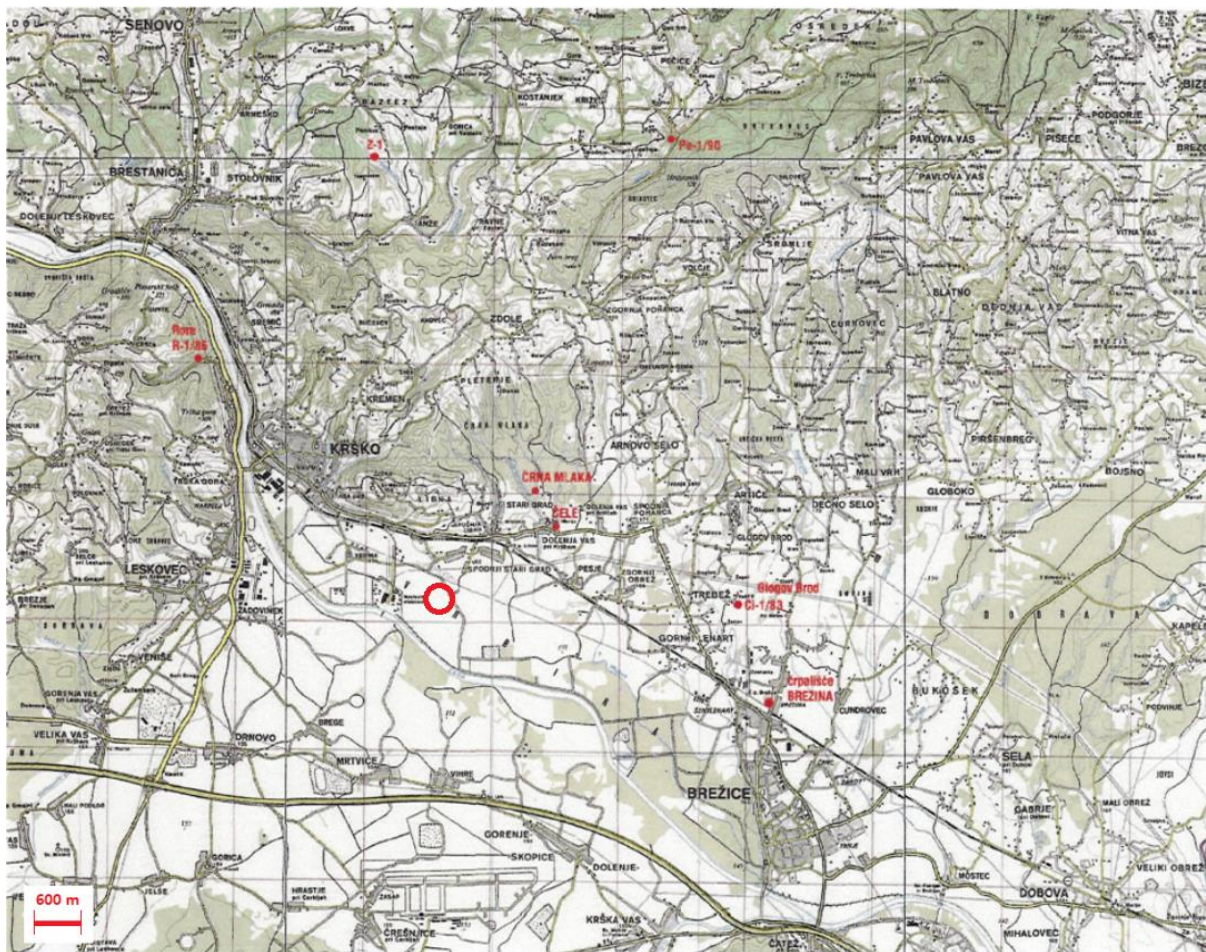
Stroncij je bil izmerjen tudi v vseh vzorcih rib. Povprečne specifične aktivnosti Sr-90 v ribah so bile $0,15 \text{ Bq/kg}$ v Krškem, $0,72 \text{ Bq/kg}$ pred jezo HE Brežice in $0,85 \text{ Bq/kg}$ v Brežicah.

Nekateri fisijski in aktivacijski produkti (Co-58, Co-60, Ag-110m, Cs-134) se navadno redno pojavljajo v tekočinskih izpustih NEK. Njihova skupna izpuščena aktivnost v letu 2017 je bila vsaj šest velikostnih redov nižja kot pri tritiju. V zadnjih nekaj letih, prav tako tudi v letu 2017, ni bil noben izmed naštetih radionuklidov zaznan v okolju. Nazadnje je bil detektiran Co-60 v letih 2003 in 2006 v vodi in sedimentu.

Naravni radionuklidi uranove (U-238, Ra-226 in Pb-210) in torijeve (Ra-228 in Th-228) razpadne vrste so bili redno zaznani v vseh vzorcih vode. V nefiltrirani vodi so bile na vseh odvzemnih mestih koncentracije aktivnosti U-238 do $6,3 \text{ Bq/m}^3$, Ra-226 do $1,9 \text{ Bq/m}^3$, Pb-210 do 8 Bq/m^3 , Ra-228 do $1,8 \text{ Bq/m}^3$ in Th-228 do $0,6 \text{ Bq/m}^3$. Vrednosti so podobne tistim, izmerjenim v rekah po Sloveniji. Koncentracije aktivnosti K-40 so nekoliko višje in so od 27 Bq/m^3 do 53 Bq/m^3 . Predvsem za K-40 je značilno izrazito nihanje, ki je povezano predvsem z onesnaženostjo rek, v manjši meri pa tudi z geološko sestavo tal. Najvišja koncentracija aktivnosti K-40 je bila izmerjena v Savinji 138 Bq/m^3 . Redno je bil v vodi izmerjen tudi kozmogeni radionuklid Be-7 [35]

Vodovodi, črpališča, zajetja

Vzorčenje iz črpališč in zajetij se je izvajalo v skladu s postopkom Izvedba programov rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško in v Republiki Sloveniji (LMR-OP-02). Na sliki 4-38 so prikazane lokacije vzorčevalnih mest.



Slika 4-38: Lokacije vzorčevalnih mest za vodovode, črpališča in zajetja v okolici lokacije odlagališča NSRAO (v rdečem).

Rezultati analiz vode, ki jih so bile izvedene v okviru ničelnega monitoringa radioaktivnosti za odlagališče NSRAO, so pokazali, da je edini umetni radionuklid, katerega vrednost je bila določena na vseh vzorčevalnih mestih, H-3. Sr-90/Sr89 je bil določen v nekaterih vzorcih, medtem ko je bil Cs-137 na meji ali pa pod mejo kvantifikacije.

Vsebnost naravnih in umetnih radionuklidov v vodah iz črpališč na območju Vrbine je primerljiva z drugimi področji v Sloveniji. Ocenjen prispevek k efektivni dozi za referenčnega predstavnika zaradi izpostavljenosti umetnim radionuklidom v vodi iz črpališč na Vrbini je za otroke (1-2 let) do $0,035 \mu\text{Sv}$ na leto in za odrasle do $0,052 \mu\text{Sv}$ na leto. Skupna dodatna prejeta efektivna doza zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v vodi v črpališčih na Vrbini je ocenjena na od $(1,2 \pm 1,1) \mu\text{Sv}$ do $(6,4 \pm 0,9) \mu\text{Sv}$ na leto za odrasle in na do $(2,6 \pm 1,8) \mu\text{Sv}$ do $(12,2 \pm 1,6) \mu\text{Sv}$ na leto za otroke (1-2 let).

V črpališču krškega vodovoda je bil v letu 2006 ocenjeni prispevek vseh umetnih radionuklidov od $(0,036 \pm 0,007) \mu\text{Sv}$ do $(0,44 \pm 0,002) \mu\text{Sv}$ na leto za odrasle in od $(0,024 \pm 0,006) \mu\text{Sv}$ do $(0,033 \pm 0,002) \mu\text{Sv}$ na leto za otroke. Celotna obremenitev na teh črpališčih zaradi umetnih in naravnih radionuklidov pa je bila ocenjena na $(1,2 \pm 1,1) \mu\text{Sv}$ do $(4,5 \pm 1,0) \mu\text{Sv}$ na leto za odrasle in od $(2,0 \pm 2,0) \mu\text{Sv}$ do $(8,9 \pm 2,0) \mu\text{Sv}$ na leto za otroke. Ocenjena doza zaradi umetnih radionuklidov v enkratno odvzetem vzorcu v ljubljanskem vodovodu je bila v letu 2006 $(0,014 \pm 0,010) \mu\text{Sv}$ za odrasle in $(0,008 \pm 0,008) \mu\text{Sv}$ za otroke. Doza zaradi prispevka vseh

radionuklidov v ljubljanski vodovodni vodi je $(3,9 \pm 1,6) \mu\text{Sv}$ za odrasle in $(6,7 \pm 3,0) \mu\text{Sv}$ za otroke. Ocenjene doze zaradi umetnih radionuklidov pomenijo povprečno manj kot 5 promilov vrednosti, ki jo posamezniki prejmejo na istem področju zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov.

Dobljene vrednosti na vseh vzorčevalnih mestih so zelo nizke v primerjavi z najvišjo dopustno vrednostjo, ki je $100 \mu\text{Sv}$ na leto za pitno vodo. To velja tako za umetne kot naravne radionuklide [36]. V okviru rednega monitoringa o radioaktivnosti v okolici NEK se izvajajo naslednja vzorčenja:

- enkratni letni vzorci vode iz vodovoda v Ljubljani (referenčna lokacija);
- enkratni četrtni vzorci vode iz vodovodov v Krškem in Brežicah;
- mesečni sestavljeni vzorci črpališč v Bregah, Rorah, Brežicah ter vodovodov Spodnji Stari Grad in Brežice;
- vzorčevanje podtalnice v neposredni okolici elektrarne (četrtni enkratni vzorci iz vrtine E1 znotraj ograje NEK in mesečni enkratni vzorci iz vrtine VOP-4, Vrbinja);
- mesečni vzorci vrtin VOP-1/06, V-7/77 in V-12/77.

Meritve vzorcev vključujejo določanje koncentracije aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG), določanje koncentracije aktivnosti tritija (H-3) s tekočinsko scintilacijsko spektrometrijo in določanje koncentracije aktivnosti Sr-90/Sr-89 z radiokemično separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama.

Rezultati raziskav za leto 2017 [35] kažejo, da je bila najvišja koncentracija aktivnosti H-3 izmerjena meseca februarja v Bregah, in sicer je bila koncentracija aktivnosti tritija $(2,1 \pm 0,3) \text{ kBq/m}^3$. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti tritija v vodi iz črpališča Brege je bila v letu 2017 $(1,8 \pm 0,1) \text{ kBq/m}^3$, kar je primerljivo s prejšnjim letom in v okviru standardne deviacije (stresanje podatkov) ustreza povprečju zadnjih 16 let, ki je $1,6 \text{ kBq/m}^3$. V vodi na črpališču Rore je bila povprečna koncentracija tritija $(0,58 \pm 0,02) \text{ kBq/m}^3$. V vodovodu v Spodnjem Starem Gradu je bila izmerjena povprečna koncentracija aktivnosti tritija $(1,7 \pm 0,06) \text{ kBq/m}^3$, kar je višje kot 16-letno povprečje, ki je $1,1 \text{ kBq/m}^3$.

V krškem vodovodu (bencinski servis Petrol) je bila izračunana povprečna koncentracija aktivnosti tritija $(0,53 \pm 0,04) \text{ kBq/m}^3$, na bencinskem servisu Petrol v Brežicah pa je bila povprečna koncentracija aktivnosti tritija $(0,10 \pm 0,05) \text{ kBq/m}^3$. Vrednosti so v okviru stresanja podatkov primerljive s prejšnjimi leti.

Kot referenčno vrednost lahko vzamemo v letu 2017 izmerjeno koncentracijo aktivnosti H-3 v ljubljanskem vodovodu $(0,45 \pm 0,06) \text{ kBq/m}^3$. Tudi v Ljubljani je dolgoletna usmeritev razvoja koncentracije aktivnosti tritija padajoča in potrjuje globalno zmanjševanje tritija zaradi nadzemnih jedrskih poskusov v vodnem krogu.

Četrtno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vrtini E1 je bilo $(1,7 \pm 0,06) \text{ kBq/m}^3$. Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vodi iz vrtine VOP-4 je bilo $(12 \pm 0,2) \text{ kBq/m}^3$. V vrtini E1 je bila izmerjena najvišja vrednost $(2,6 \pm 0,2) \text{ kBq/m}^3$ v zadnji četrtini leta (vzorec je bil vzorčevan novembra), v vrtini VOP-4 pa v vzorcu, vzorčevanem 1. marca $(29,0 \pm 1,0) \text{ kBq/m}^3$. Voda iz vrtin se ne uporablja niti kot pitna voda niti kot tehnološka voda.

Zaradi izgradnje HE Brežice se od junija 2016 vzorčujejo tudi vrtine VOP-1/06, V-7/77 in V-12/77. V teh vrtinah nismo opazili izrazitih nihanj oziroma odmikov koncentracij aktivnosti H-3 od povprečnih vrednosti. Tako je bilo povprečje v VOP-1/06 1 kBq/m³, v V-7/77 in V-12/77 pa 1,5 kBq/m³.

V letu 2017 so bila opravljena intenzivna zemeljska dela v bližini NEK in VOP-4 zaradi priprave terena na akumulacijsko jezero HE Brežice. Iz večletnega pregleda rezultatov meritev koncentracij aktivnosti tritija v pitni in podzemni vodi je razvidno, da je bil vodonosnik nekako do junija 2017 dovzetnejši za priliv Save, medtem ko so se že v 14 dneh po zaključku polnjenja akumulacijskega jezera koncentracije aktivnosti tritija znižale na razmeroma nizke vrednosti, čeprav je to obdobje, ko se tekočinski izpusti iz NEK povečajo.

V vodovodnih sistemih in vrtinah za zdaj niso bile zaznane večje spremembe glede koncentracij aktivnosti tritija, ki bi bile posledica spremenjenega hidrološkega režima na krško-brežiškem polju zaradi napolnitve akumulacije HE Brežice. V letu 2017 se je, predvsem v prvi polovici leta, drugače vedla le vrtina VOP-4: višja vrednost okrog 30 kBq/m³ je vztrajala dlje časa, ni pa presegla najvišjih vrednosti, izmerjenih v zadnjih 7. letih.

Radionuklida Cs-137 in Sr-90 sta nehomogeno razširjena tudi na območju Slovenije. V majhnih količinah se pojavljata tudi v izpustih NEK. Oba lahko uporabimo kot sledilca za študij transportnih procesov, zato njihovo prisotnost v vzorcih podzemne vode razlagamo kot stik atmosfere in podzemne vode. Ugotovitve kažejo, da se Cs-137 pojavlja le v dobri petini vzorcev, pri drugih je bil le ta pod mejo kvantifikacije. Stroncij je bil nad mejo kvantifikacije poročan pri 60 % vseh vzorcev pitne oziroma podzemne vode.

Najvišja izmerjena koncentracija aktivnosti Cs-137 je bila v letu 2017 ($0,16 \pm 0,1$) Bq/m³ v junijskem vzorcu iz črpališča Brege. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 na petih lokacijah je bila od 0,0033 Bq/m³ v brežiškem vodovodu do 0,031 Bq/m³ v črpališču Brežice. Vrednosti so v okviru stresanja podatkov primerljive z večletnimi povprečji na posameznih lokacijah.

Najvišja koncentracija aktivnosti Sr-90 je bila ($0,93 \pm 0,09$) Bq/m³ v februarjem vzorcu vodovoda Spodnji Stari Grad. Povprečna koncentracija aktivnosti Sr-90 na petih lokacijah je bila od 0,09 Bq/m³ v Brežicah do 0,55 Bq/m³ v črpališču Rore. V krškem vodovodu je bilo povprečje 0,62 Bq/m³. V brežiškem vodovodnem sistemu so bile koncentracije aktivnosti Sr-90 v vseh vzorcih pod mejo detekcije.

V mesečnih ali četrtnih vzorcih I-131 na vseh vzorčevalnih mestih v Krškem in Brežicah ni bil zaznan v pitni vodi ali pa je bil pod mejo kvantifikacije.

Koncentracije aktivnosti naravnega radionuklida K-40 so bile v letu 2017 izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih. Koncentracija aktivnosti K-40 je bila povečana v vodi na črpališču Brege in vodovodu Spodnji Stari Grad, kar nakazuje na zunanje vplive (gnojenje, večji vodostaj Save). V Bregah je bila povprečna mesečna koncentracija aktivnosti 74 Bq/m³, v vodovodu Spodnji Stari Grad 65 Bq/m³, na drugih črpališčih in vodovodih pa je bila med 22 Bq/m³ in 28 Bq/m³. Vrednosti sledijo dolgoletnim usmeritvam, izjema je le vodovod Spodnji Stari Grad.

Za vsa vzorčevalna mesta krškega in brežiškega vodovoda velja, da so povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti naravnega U-238 nizka, najvišje aritmetično povprečje mesečnih vrednosti je bilo izmerjeno v vodovodu Brežice, in sicer ($4,1 \pm 0,9$) Bq/m³ in na črpališču Rore

$(4,7 \pm 1,0) \text{ Bq/m}^3$. Mesečne aritmetične povprečne koncentracije aktivnosti Ra-226 se gibljejo od $0,5 \text{ Bq/m}^3$ (vodovod Brežice) do $2,7 \text{ Bq/m}^3$ (črpališče Brege). Mesečno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti Pb-210 je bilo od $2,1 \text{ Bq/m}^3$ v vodi, načrpani na črpališču Rore in vodovodu Krško, in do $5,5 \text{ Bq/m}^3$ v vodi iz vodovoda Spodnji Stari Grad. V Ljubljani je bila koncentracija aktivnosti Pb-210 $2,1 \text{ Bq/m}^3$. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Ra-228 v vodovodu Brežice je bila $0,4 \text{ Bq/m}^3$, v Krškem pa $1,1 \text{ Bq/m}^3$. Povprečne mesečne koncentracije Th-228 se gibljejo med $0,3 \text{ Bq/m}^3$ (Brežice) in $0,9 \text{ Bq/m}^3$ (Brege). Be-7 je bil občasno detektiran v vseh črpališčih in vodovodih v Krškem in Brežicah. Povprečna mesečna koncentracija Be-7 je bila $3,6 \text{ Bq/m}^3$ v Brežicah, v Rorah in Spodnjem Starem Gradu pa $4,6 \text{ Bq/m}^3$ [35].

Padavine in usedi

Radioaktivne snovi, ki so v ozračju, se zaradi izpiranja z dežjem kopičijo na površinah. S specifično analizo radionuklidov v vzorcih se ugotavlja obseg njihovega usedanja. Za potrebe analiz, se je izvajalo vzorčenje padavin, za kar so bili uporabljeni zbiralniki iz nerjavnega jekla. Vzorčenje je za potrebe določanja ničelnega monitoringa za odlagališče NSRAO, potekalo na vzhodnem robu lokacije odlagališča NSRAO, pri uvozu na zbirni center komunalnih odpadkov Spodnji Stari Grad.

V vzorcih padavin sta bila naravna radionuklida Be-7 in K-40, potomci uranove in torijeve razpadne vrste ter umetni radionuklid Cs-137. Največje koncentracije Pb-210 ($(760 \pm 70) \text{ Bq/m}^3$), Th-228 ($(44 \pm 10) \text{ Bq/m}^3$), K-40 ($(530 \pm 100) \text{ Bq/m}^3$), Be-7 ($(4000 \pm 200) \text{ Bq/m}^3$), Ra-226 ($(39 \pm 30) \text{ Bq/m}^3$) in Cs-137 ($(19 \pm 8) \text{ Bq/m}^3$) so bile izmerjene aprila 2007, največje koncentracije Ra-228 ($(12 \pm 7) \text{ Bq/m}^3$) pa novembra 2006. Koncentracije posameznih radionuklidov, izmerjene aprila 2007 so bile višje od tistih, ki so bile določene v okviru programa nadzora (monitoringa) NEK v prejšnjih letih v Krškem, saj je bila količina padavin aprila zelo majhna in je bila zato količina vzorca le 1,4L. Preračunani usedi, ki so neodvisni od količine padavin so pokazali najvišjo vrednost za Be-7 ($42 \pm 2) \text{ Bq/m}^2$ in najnižjo za Cs-137 ($0,043 \pm 0,019) \text{ Bq/m}^2$. Najvišje vrednosti za Pb-210 in Be-7 so bile izmerjene v marcu leta 2007, za druge radionuklide pa v aprilu leta 2007, ko je bila količina vzorca najmanjša.

Analiza rezultatov meritev radionuklidov v padavinah je pokazala, da prispevki umetnih radionuklidov ne vplivajo pomembno na skupno letno izpostavljenost okoliškega prebivalstva.

Vrednosti meritev za sedemmesečni used so v analizah ekstrapolirali na celotno izpostavljenost in izračunali dodatne prejete zunanje doze zaradi useda, ki veljajo tako za odrasle kot tudi za otroke (1-2 leti). Zunanje doze so izračunane kot produkt letnega useda in doznega faktorja za posamezen radionuklid, ob predpostavki štiriurnega dnevnega zadrževanja na prostem. Celotna doza, izračunana na ta način je $(56 \pm 10) \text{ nSv}$ in doza zaradi umetnih radionuklidov $(1,7 \pm 0,4) \text{ nSv}$. Pri tem velja poudariti, da je doza zaradi umetnih radionuklidov pravzaprav na robu merilne negotovosti. Ocenjena celotna doza v Krškem je bila v letu 2005 $(66 \pm 14) \text{ nSv}$, doza zaradi umetnih radionuklidov pa $(0,3 \pm 0,1) \text{ nSv}$. V letu 2006 sta bili ti dozi ocenjeni na $(118 \pm 24) \text{ nSv}$ in $(0,4 \pm 0,1) \text{ nSv}$, kar sta primerljivi vrednosti [36].

Prejete doze zaradi radioaktivnosti, ki se izpere z dežjem iz ozračja, so nižje v primerjavi z dozami, ki so bile ocenjene iz rezultatov radiološkega nadzora (monitoringa) na območju Krškega [34]. Razlika izvira iz ekstrapolacije, ki je bila narejena na podlagi časovnih intervalov

in ni upoštevala, da so meritve ničelnega stanja potekale v sušnem obdobju, ko je izpiranje iz ozračja manjše. Povečanega useda Pb-210 zaradi emisij radona iz skladišča ne pričakujemo, ker Pb-210 v izpuhu ne bo zaradi filtriranja izpuščenega zraka, iz radona pa nastane Pb-210 šele po nekaj dneh [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK se izvajajo naslednja vzorčevanja:

- mesečni sestavljeni vzorci iz zbiralnikov padavin v Bregah, Krškem in na referenčni lokaciji v Dobovi ter v Ljubljani (kontrolna lokacija; v okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji);
- mesečna menjava vazelinskih zbiralnikov suhega useda na osmih lokacijah v ožji in širši okolici NEK ter v Ljubljani (referenčna lokacija).

Pri vzorcih padavin se izvajajo meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama, določena je bila še koncentracija aktivnosti tritija (H-3) s tekočinsko scintilacijsko spektrometrijo in koncentracija aktivnosti Sr-90/Sr-89 z radiokemično analizo. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Na vazelinskih vzorcih so bile opravljene meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama.

Iz poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici NEK iz leta 2017 [35] izhajajo naslednje ugotovitve.

Tritij je praktično edini radionuklid, ki ga v naravi v okolici NEK lahko deloma pripišemo izpustom jedrske elektrarne, obenem pa na splošni ravni (še) nimamo (ponovnih) stabilnih naravnih vrednosti, je stanje pri drugih umetnih radionuklidih v padavinah in usedih nekoliko drugačno. V splošnem lahko rečemo, da je stanje v Ljubljani in v okolici NEK precej podobno, razmerja med radionuklidi so praktično enaka, kar pomeni, da izmerjenih radionuklidov v splošnem ne moremo pripisati jedrski elektrarni.

V letu 2017 je bilo mesečno manj padavin kot v letu 2016, razen v mesecu septembru, ko je padlo 29 % celoletnih padavin v Ljubljani in povprečno 37 % celotnih padavin v okolici NEK. Zaradi septembra je celoletni prispevek padavin primerljiv z letom 2016 in nekoliko višji v primerjavi z letom 2015. Količina padavin je bila v Bregah, Krškem in Dobovi primerljiva, razlika je bila kvečjemu 4 %. Največ dežja je padlo v Krškem, najmanj v Dobovi. V celem letu je največ padavin padlo v Ljubljani (1 531 mm), približno 40 % več od povprečja v okolici NEK.

Koncentracija aktivnosti tritija v padavinah močno variira, in le koncentracije aktivnosti nad 2 kBq/m³ bi lahko pripisali izpustom iz NEK. V letu 2017 je bila koncentracija aktivnosti tritija v padavinah višja od 2 kBq/m³ le enkrat, in sicer v Bregah v mesecu februarju. Pojavnost povišanih vrednosti se je v zadnjih treh letih znižala. V Ljubljani so se izmerjene vrednosti gibale med najnižjo izmerjeno vrednostjo (0,27 ± 0,08) kBq/m³ in (1,1 ± 0,08) kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo (0,67 ± 0,04) kBq/m³, v Bregah med (0,57 ± 0,07) kBq/m³ in (2,6 ± 1,0) kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo (1,4 ± 0,03) kBq/m³, v Krškem med (0,67 ± 0,09) kBq/m³ in (1,7 ± 0,1) kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo (1,04 ± 0,03) kBq/m³ in Dobovi med (0,43 ± 0,08) kBq/m³ in (1,4 ± 0,1) kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo (0,87 ± 0,02) kBq/m³. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti za leto 2017 je bila na vseh lokacijah najnižja v zadnjih 15 letih; najnižja v Ljubljani, najvišja pa v Bregah, kar je časovna usmeritev od leta 2005 naprej.

Najvišji mesečni padavinski usedi H-3 so bili izmerjeni v Bregah, do 310 Bq/m² v mesecu septembru. Vrednosti in časovna poteka za Ljubljano in Dobovo sta primerljiva, vrhovi se skladajo z meseci, ko je bilo padavin več. Nekoliko drugačen je potek za Krško in Brege, kjer se izraziti vrh oktobra sklada z mesecem, ko so bili izpusti tritija najvišji (september). Usedi tritija v letu 2017 so bili nižji kot v prejšnjih letih.

Najvišja koncentracija aktivnosti Cs-137 v padavinah za kraje v okolici NEK je bila v letu 2017 ugotovljena za julijski vzorec v Krškem ($1,6 \pm 0,3$) Bq/m³, medtem ko je bila v Ljubljani najvišja koncentracija aktivnosti Cs-137 v padavinah v marcu ($5,6 \pm 0,7$) Bq/m³. Veliko merskih rezultatov ima veliko negotovost, kar pomeni, da so vrednosti pod mejo kvantifikacije, prav tako je bilo tudi veliko mesecev, ko Cs-137 v padavinah ni bil zaznan.

Najvišje vrednosti padavinskega useda za Cs-137 so bile izmerjene v Ljubljani 0,19 Bq/m² marca in 0,08 Bq/m² julija, v Bregah in Krškem 0,11 Bq/m² julija in v Dobovi 0,09 Bq/m² prav tako julija pri zmerni količini padavin (resuspenzija prašnih delcev s tal).

V primerjavi z zadnjimi petimi leti se je letni padavinski used Cs-137 zvišal v Ljubljani, Krškem in Bregah, medtem ko se je v Dobovi znižal. Vrednosti v letu 2017 so podobne tistim iz leta 2011. Used je na vseh lokacijah primerljiv vrednostim iz predčernobilskega obdobja med letoma 1982 in 1985.

Tudi v letu 2017 Sr-90 v okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK ni bil posebej obravnavan, saj so praktično vse izmerjene vrednosti pod mejo detekcije in tako ni možno moremo oceniti vpliva NEK na okolje zaradi izpustov Sr-90. V primerjavi za zadnjih 10 let ugotavljajo usmeritev nižanja letnega useda Sr-90 [35].

Zrak

Meritve zraka za potrebe odlagališča NSRAO so potekale, ravno tako kot meritve padavin, na vzhodnem robu lokacije odlagališča NSRAO, pri uvozu na zbirni center komunalnih odpadkov Spodnji Stari Grad. Izvedene so bile meritve aerosolov, I-131 in meritve koncentracij radona. Poleg tega merilnega mesta se v okolici nahaja več merilnih mest, kjer se vzorčijo aerosoli in I-131 za potrebe nadzora radioaktivnosti v okolici NEK. Ti podatki so omogočali dodatno primerjavo in dopolnitev opravljenih meritev. Na sami lokaciji odlagališča NSRAO so bile odpravljene dodatne meritve koncentracije radona s porabo pasivnih detektorjev sledi. Meritve so bile opravljene na lokacijah, ki so bile razporejene v obliki križa dimenzij 480 m x 480 m in se skladajo z lokacijami, ki so bile uporabljene za meritve zunanjega sevanja s termoluminiscenčnimi dozimetri TLD (slika 4-38).

Meritve za I-131 v zraku so na vseh zbranih vzorcih pokazale nižje vrednosti od 1E-4 Bq/m³, ki jo privzemamo kot potrebno merilno mejo za izračun doz. Zato lahko rečemo, da prisotnost joda ni bila ugotovljena.

Meritve naravnih radionuklidov, skupaj s kozmogenim Be-7, kažejo dobro ujemanje s povprečji, pridobljenimi pri meritvah v okviru nadzora imisij v okolici NEK [37]. Edina razlika je pri vrednostih za U-238 (ki je bil pod mejo kvantifikacije pri vseh meritvah) in pri vrednosti Ra-226 ($46 \mu\text{Bq/m}^3$), ki je večja od tiste v referenci [37] ($11 \mu\text{Bq/m}^3$). Rezultati meritev K-40 niso posebej navedeni.

Izmed umetnih radionuklidov je bil zaznan samo Cs-137, izmerjena vrednost ($1,9 \mu\text{Bq/m}^3$) pa se v okviru merilne negotovosti ujema s povprečno vrednostjo krajev v okolici NEK iz reference [37].

Meritve koncentracij radona, ki so pokazale vrednosti koncentracije atmosferskega radona (26 Bq/m^3) so nekoliko višje od tistih, ki se imajo za pričakovane na odprtem prostoru ($10\text{--}15 \text{ Bq/m}^3$) [38]. Povišane vrednosti so lahko posledica sezonskih nihanj (navadno so poleti nižje vrednosti, pozimi višje), površinske strukture tal, ki omogoča večjo ekshalacijo, ali dejavnosti na bližnjem odlagališču, kjer je bila merilna oprema priključena na električno omrežje. Sama koncentracija Ra-226 v zemlji (41 Bq/kg) se ne odmika od pričakovanih vrednosti, izmerjenih v drugih krajih, in od svetovnega povprečja.

Izmerjeni povprečni vrednosti faktorja ravnovesja $0,63$ oziroma $0,51$ se dobro ujemata z vrednostjo $0,6$, ki se navadno uporablja za odprte prostore.

Pri oceni vplivov so meritve I-131 v zraku pokazale, da merilna meja $1\text{E-}4 \text{ Bq/m}^3$ ni bila presežena pri nobenem vzorcu. Oceno za zgornjo mejo prispevka I-131 lahko dobimo tako, da za koncentracijo privzamemo merilno mejo $1\text{E-}4 \text{ Bq/m}^3$. Tako izračunane letne efektivne doze za odraslega človeka (starost >17 let) in otroka ($1\text{--}2$ let) so 7 nSv na leto ter 11 nSv na leto, kar ustreza ekvivalentni ščitnični dozi 140 nSv na leto za odraslega in 220 nSv na leto za otroka. Zato lahko sklepamo, da je s stališča varstva pred sevanji prispevek I-131 k celotni dozi nebiten.

Meritve na aerosolnih filtrih so pokazale, da je med naravnimi radionuklidi najpomembnejši prispevek k letni efektivni dozi za odraslega človeka tisti zaradi radonovega potomca Pb-210, in sicer $(46 \pm 4) \mu\text{Sv}$ na leto. Drugi po pomembnosti je prispevek predstavnika torijevega podniza Th-228, ki je bil $(25 \pm 10) \mu\text{Sv}$ na leto. Podobne vrednosti kažejo tudi meritve imisij v okolici NEK.

Edini izmerjeni umetni radionuklid, ki prispeva dozi, je bil Cs-137, vendar je njegov prispevek bistveno manjši od prispevkov naravnih radionuklidov in je $(0,7 \pm 0,2) \text{ nSv}$ na leto.

Za totalni prispevek k predvideni efektivni dozi vseh detektiranih radionuklidov za odraslega človeka v naselju Vrbinja dobimo vrednost $(76 \pm 13) \mu\text{Sv}$ na leto ter za prispevek umetnih radionuklidov $(0,7 \pm 0,2) \text{ nSv}$.

Podobno dobimo za totalni prispevek k predvideni efektivni dozi za otroka ($1\text{--}2$ leti) v naselju Vrbinja vrednosti $(34 \pm 5) \mu\text{Sv}$ na leto za celotni prispevek vseh radionuklidov in $(0,3 \pm 0,1) \text{ nSv}$ za umetne radionuklide. Totalni prispevek predvideni efektivni dozi je $(34 \pm 5) \mu\text{Sv}$ na leto.

Vrednosti, izmerjene na lokaciji odlagališča NSRAO, se ne odmikajo bistveno od vrednosti, ki se štejejo za pričakovane na odprtem prostoru. Ker sta bili obe meritvi opravljeni predvsem v zimskih mesecih, je letno povprečje skoraj gotovo nižje od izmerjenih povprečij ($19 \pm 9 \text{ Bq/m}^3$ oziroma $15 \pm 5 \text{ Bq/m}^3$) in v okviru pričakovanih vrednosti za odprte prostore [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK se izvajajo naslednja vzorčevanja:

- vzorčevanje aerosolov se opravlja s kontinuirnim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre, ki se menjajo vsakih 15 dni; črpalke so postavljene na osmih lokacijah v okolici NEK (Spodnji Stari Grad, Krško – Stara vas, Leskovec, Brege, Vihre, Gornji Lenart, Spodnja Libna in referenčna lokacija Dobova) ter na kontrolni lokaciji v Ljubljani (nadzor radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji);

- vzorčevanje joda I-131 se opravlja s posebnimi črpalkami in filtri na istih lokacijah, kot poteka vzorčevanje aerosolov (razen v Dobovi);
- vzorčevanje za specifično meritev Sr-90/Sr-89 se opravlja s posebno črpalko le v Dobovi;
- meritve emisij se opravijo na glavnem oddušniku NEK, pri čemer se odvzemajo vzorci za meritev joda, tritija (H-3), ogljika (C-14), aerosolov ter opravljajo meritve žlahtnih plinov;
- zbiranje vzorcev zračnega ogljika C-14 v CO₂ je kontinuirno potekalo na dveh mestih na ograji NEK, pri čemer je v letu 2017 bilo skupno zbranih dvanajst vzorcev. Meritve filtrov za aerosole in posebnih filtrov za I-131 se opravljajo z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifična meritev Sr-90/Sr-89 pa se opravlja s scintilacijskim spektrometrom beta. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Merjenje specifične aktivnosti C-14 v atmosferskem CO₂ poteka z uporabo tekočinsko scintilacijskega števca, pri čemer iz CO₂ tvorimo benzen.

Iz poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici NEK iz leta 2017 [35] izhajajo naslednje ugotovitve.

V zračnih izpustih iz NEK (7,5 TBq) je največ tritija (6,1 TBq) in C-14 (77 GBq). Le teh pa v okolju ne ugotavljamo oziroma nista v programu meritev. Njuno prisotnost v okolju ocenjujejo z uporabo modela razširjanja snovi po zraku na podlagi meritev na izviru.

Med obratovanjem so bili v izpuhu NEK v letu 2017 zaznani izpusti Co-60, Te-123m, Te-125m, Te-127m, Cs-137 in Sr-90, vendar ti izotopi z izjemo Cs-137 in Sr-90, niso bili detektirani na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK in v Ljubljani. Cs-137 in Sr-90 sta v okolju pretežno posledica splošne kontaminacije.

Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v letu 2017 so bile nižje od dolgoletnih povprečij ter dvakrat nižje kot drugod po Sloveniji. Domnevno je prisotnost Cs-137 v zraku posledica uporabe trdih goriv (drva, briketi, peleti), manj pa zaradi resuspenzije prašnih delcev s tal. Najvišja poročana koncentracija aktivnosti Cs-137 nad mejo kvantifikacije v okolju v okolici NEK je bila $(3,6 \pm 0,8) \mu\text{Bq/m}^3$ v januarju v Bregah. Najvišje povprečje $1 \mu\text{Bq/m}^3$ v letu 2017 pa je bilo na lokaciji v Vihrah.

Meritve stroncija Sr-90 v okolju se izvajajo le v Dobovi, in še to na trimesečnih sestavljenih vzorcih. Povprečna koncentracija aktivnosti v letu 2017 je bila $0,11 \mu\text{Bq/m}^3$, vendar so bile vse meritve pod mejo detekcije. Večletno povprečje koncentracije aktivnosti za Sr-90 je manjše od $0,7 \mu\text{Bq/m}^3$. Radionuklid Sr-89 v letu 2017 ni bil detektiran v zračnih izpustih NEK.

Radionuklid I-131 v letu 2017 ni bil detektiran na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK (manj kot $0,01 \text{ mBq/m}^3$), kjer so postavljene kombinirane črpalke, prav tako so bile mesečne koncentracije aktivnosti I-131 v oglenih filtrih pod mejno merilno koncentracijo aktivnosti $0,1 \text{ mBq/m}^3$. Tudi zmogljivejše aerosolne črpalke, kjer je mejna koncentracija aktivnosti $0,001 \text{ mBq/m}^3$, na mestih v Dobovi in Ljubljani niso pokazale prisotnosti I-131 v zraku.

Meritve naravnih radionuklidov v aerosolih v vzorcih iz okolice NEK kažejo prisotnost radionuklidov, ki so pridobljene v okviru nadzornih meritev tudi na drugih mestih v Sloveniji. Pri tem velja, da se vrednosti Be-7 in Pb-210 dobro ujemata na vseh merilnih mestih v okolici NEK.

in Ljubljani, ki je kontrolna lokacija, ter delno tudi z drugimi lokacijami po Sloveniji. Povprečna koncentracija aktivnosti Be-7 v letu 2017 v okolici NEK je bila $3\,800\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, Pb-210 pa $640\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. V Ljubljani sta bili povprečni koncentraciji $4\,400\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in $780\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Pri drugih naravnih radionuklidih (izotopi uranove in torijeve razpadne verige ter K-40) so bile razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK nekaj večje, a še vedno v okviru merilnih negotovosti in pričakovanih odmikov, kar je posledica večje resuspenzije na obdelovanih kmetijskih površinah [35].

Hitrost doze zunanjega sevanja

Zunanje sevanje na lokaciji odlagališča NSRAO Vrbin, v okviru ničelnega monitoringa za odlagališče, so merili na dva načina:

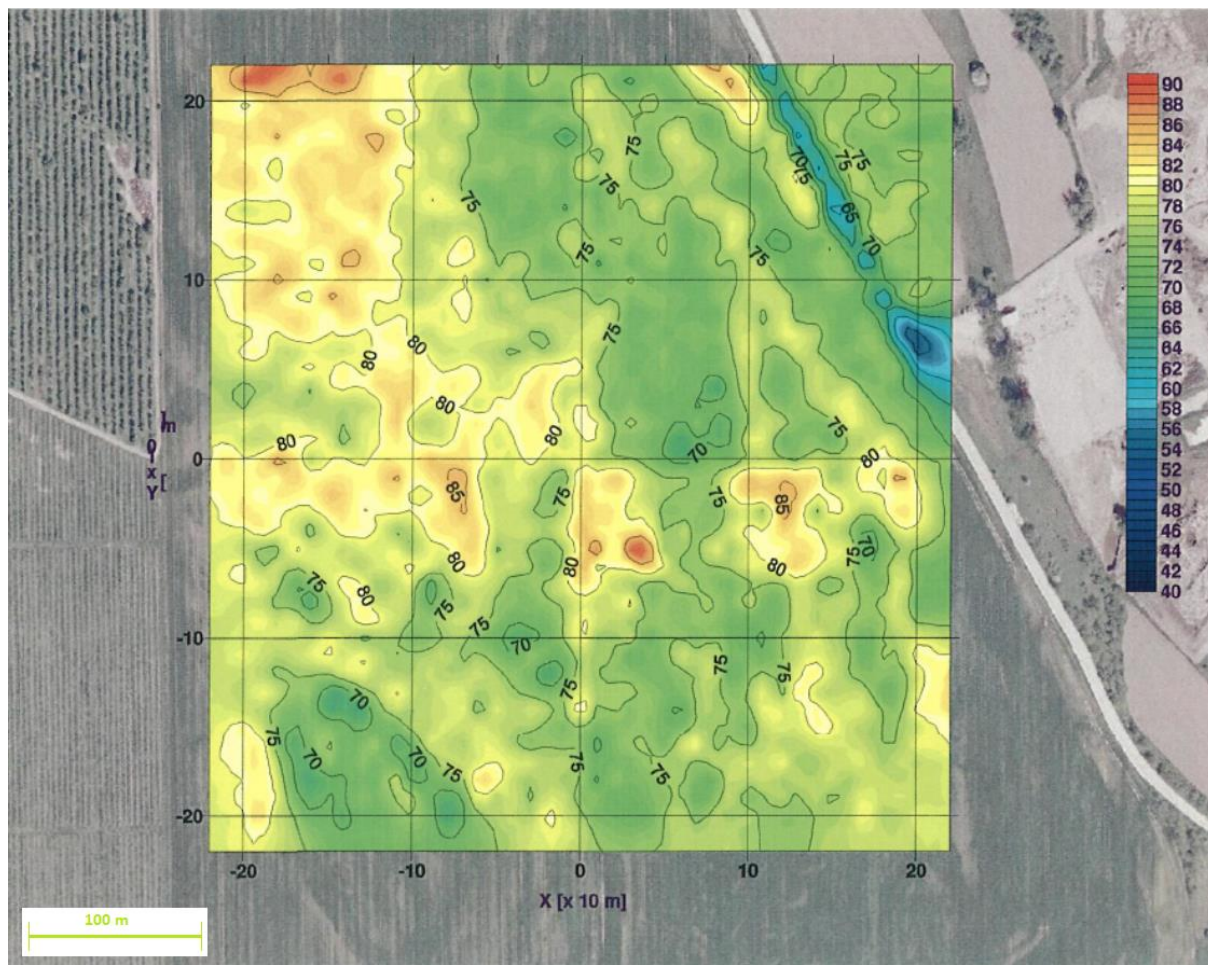
- z ionizacijsko celico Reuter-Stokes so v novembru in decembru 2006 izmerili trenutne vrednosti hitrosti absorbirane doze v zraku na mreži z razmikom 10 m, ki je obsegala 2175 merskih točk;
- dodatno so s termoluminiscenčnimi dozimetri TLD izmerili okoljsko ekvivalentno dozo $H^*(10)$ v obdobju med novembrom 2006 in marcem 2007 na isti lokaciji na mreži z razmikom 20 m, ki je obsegala 49 točk.

Z ionizacijsko celico merimo trenutne hitrosti doze, na katero lahko vplivajo močnejše padavine, ki zaradi izpiranja radonovih potomcev iz zraka povečajo ravni zunanjega sevanja.

Daljša izpostavitve TLD omogoča boljšo oceno povprečnega zunanjega sevanja na območju, vendar v zimskem času nanjo lahko vpliva snežna odeja, ki oslabi sevanje gama iz zemlje in zato onemogoči ekstrapolacije na vse leto.

Meritve so bile izvedene v času brez padavin, pa tudi zaradi mile zime ni bilo vpliva snežne odeje. Zaradi tega so bile meritve realno ekstrapolirane na vse leto.

Na sliki 4-39 so v obliki izodoznih krivulj povzeti rezultati meritev z RSS-112. Predvsem je v obliki nizkih hitrosti doze dobro viden obris ceste, ki na severovzhodnem delu prečka območje meritev.



Slika 4-39: Izodozne krivulje meritev z ionizacijsko celico RSS-112 v nGy/h.

Vse meritve zunanjega sevanja so pokazale, da gre na področju lokacije odlagališča NSRAO Vrblina za razmere, ki so značilne za navadno naravno ozadje. Na lokaciji ni izrazitih ekstremnih vrednosti. Ekstrapolirane letne vrednosti za lokacijo Vrblina so primerljive z letnimi dozami v okolici NEK in nekoliko nižje, kot velja za povprečje v Sloveniji.

Koncentracije sevalcev gama v zemlji, izračunane iz meritev in-situ, kažejo na prisotnost Cs-137 in naravne radioaktivnosti v zemlji. Koncentracije členov uranove in torijeve razpadne verige - sevalcev gama in K-40, so nižje od koncentracij, izmerjenih z laboratorijsko analizo vzorcev, ker so le-te preračunane na suho snov, koncentracije izmerjene in-situ pa na dejansko koncentracijo v zemlji. Meritve in-situ so bile opravljene v mrzlem letnem času, ko je v zemlji mnogo vlage [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK se izvajajo naslednje meritve:

- doza zunanjega sevanja (sevanje gama in ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja) se meri s 57 TL-dozimetri v okolici NEK (nameščeni so krožno okoli NEK na razdaljah do 10 km) in devetimi TL-dozimetri na ograji NEK; dozimetri se odčitavajo v polletnih presledkih; referenčni dozimeter za vse meritve doze zunanjega sevanja je v Ljubljani;
- vzporedno potekajo meritve s TL-dozimetri na 50 lokacijah po državi;

- v okolici NEK je postavljenih 14 kontinuirnih merilnikov sevanja MFM-203, ki delujejo v sklopu mreže zgodnjega obveščanja; poleg teh je v mrežo zgodnjega obveščanja v Sloveniji vključenih še dodatnih 60 kontinuirnih merilnikov.

Vsi TL-dozimetri v Sloveniji se odčitavajo na sistemu IJS MR 200 (C). Podatke iz kontinuirnih merilnikov zbira in posreduje URSJV.

Rezultati raziskav zunanjega sevanja, ki so bile izvedene v okviru monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK in so podani v poročilu za leto 2017 [35], so povzeti v nadaljevanju.

V letu 2017 je bil izmerjen povprečni letni okoljski dozni ekvivalent ($H^*(10)$) ($0,83 \pm 0,11$) mSv v razponu od 0,51 mSv do 1,07 mSv. Na ograji NEK so bile izmerjene vrednosti med 0,51 mSv in 0,63 mSv na leto in povprečna vrednost ($0,59 \pm 0,03$) mSv na leto. Meritve s TL-dozimetri po Sloveniji so dale povprečno vrednost okoljskega doznega ekvivalenta ($0,90 \pm 0,17$) mSv na leto, kar je v okviru negotovosti povprečja primerljivo. Tudi v Ljubljani, na referenčnem mestu, se povprečni letni okoljski dozni ekvivalent ($0,83 \pm 0,09$) mSv ne odmika od povprečja v okolici NEK oziroma po Sloveniji. Letni okoljski dozni ekvivalenti se v okviru stresanja vrednosti ne odklanjajo od večletnega povprečja.

V različnih smereh od lokacije za odlagališče NSRAO, se nahajajo naslednji štirje najbližji TL-dozimetri: TLD št. 9 se nahaja 710 m severovzhodno od središča lokacije, TLD št. 12 se nahaja 580 m jugovzhodno od središča lokacije, TLD št. 16 se nahaja 760 m južno od središča lokacije in TLD št. 51 se nahaja 560 m vzhodno od središča lokacije odlagališča NSRAO (na ograji NEK). Lokacije TL-dozimetrov so prikazane na sliki 4-40.

Na TL-dozimetru št. 9 je bila v letu 2017 izmerjen povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ 0,752 mSv. Za TLD št. 12 je ta vrednost za isto obdobje znašala 0,758 mSv, za TLD št. 16 pa 0,734 mSv. Najnižja izmerjena vrednost povprečnega letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$, je bila od teh štirih TL-dozimetrov, v letu 2017 izmerjena na TLD-ju št. 51, ki se nahaja na ograji NEK in to 0,565 mSv.



Slika 4-40: Lokacije TL-dozimetrov (v modrem) v okolici lokacije odlagališča NSRAO.

Meritev $H^*(10)$ s 14 kontinuirnimi merilniki MFM-203 v okolici NEK je v letu 2017 dala povprečno vrednost $(0,83 \pm 0,11)$ mSv na leto (v razponu od 0,63 mSv do 1,00 mSv), kar je v okviru stresanja merskih vrednosti enako kot letni dozni ekvivalent, dobljen s TL-dozimetri.

Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent pri 60 kontinuirnih merilnikih v Sloveniji, ki so pod nadzorom URSJV, je bil v letu 2017 $(0,88 \pm 0,16)$ mSv v razponu od 0,57 mSv do 1,34 mSv. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent, izmerjen s 60 MFM, je v okviru stresanja merskih vrednosti enak, kot ga kažejo meritve s TLD na območju Slovenije. V primerjavi s prejšnjimi leti ne opažamo statističnih odklikov.

Za meritve zunanjega sevanja v Sloveniji je v vseh primerih značilno izrazito zmanjševanje letnega okoljskega doznega ekvivalenta, predvsem v prvih letih po črnobilski nesreči (1986). Ta usmeritev se nadaljuje tudi v letu 2017. Vzrok je razpad usedlih kratkoživih sevalcev gama, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanjemu sevanju, in prodiranje Cs-137 v zemljo. Prispevek Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu lahko ocenimo na 0,11 mSv, kar je 3-krat več od ocene prispevka Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu iz zemlje za lokacijo Gmajnice [35].

Zemlja in sedimenti

Raziskave v okviru ničelnega monitoringa za odlagališče NSRAO so potekale na dveh lokacijah, ob reki Savi ter v Vrbin ob njivi pred zbirnim centrom Spodnji Stari Grad, sta bili izvrtani tako plitva (VOP, do 15 m) kot globoka vrtina (VOG, do 160 m) in vzorci odvzeti v korakih po 10 m. Obenem so bili odvzeti tudi vzorci trave in zemlje v manjših korakih do globine 1 m. Na vseh štirih lokacijah so bili po standardni vzorčevalni metodi posebej vzeti še vzorci trave. Na obeh lokacijah je zemlja naplavina, vrhnji plasti prsti sledi plast grušča in nato mivkasta zemlja. Prst je bila na obeh lokacijah neobdelana [36].

Na podlagi raziskav je bila podana ugotovitev, da so na lokaciji Vrbin v plasti zemlje, pomembni za ocene doz, koncentracije in njihove porazdelitve tako naravnih kot umetnih izotopov povsem primerljive s tistimi, ki smo jih v preteklih letih izmerili na območju, ki ga obsega Monitoring NEK [34], in da v zemlji ni umetnih radionuklidov, ki bi izvirali iz NEK. V večjih globinah se opazi odvisnost koncentracij naravnih radionuklidov od geološke sestave plasti [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK se izvajajo raziskave na vzorcih zemlje, ki jih zbirajo na treh lokacijah neobdelane zemlje nizvodno od NEK na poplavnih območjih (Amerika – 3,5 km od NEK, Gmajnice – 2,5 km od NEK in Kusova Vrbin-Trnje – 8,5 km od NEK); vzorčevanje poteka dvakrat letno, in sicer ločeno po globinah do 30 cm.

Meritve sevalcev gama se opravljajo z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 pa se določa z radiokemijsko analizo. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama.

Vzorčevanje zemlje poteka na poplavnih področjih tako, da sta usedanje iz zraka in poplavljanje prenosni poti, po katerih lahko izpusti NEK dosežejo mesta vzorčevanja.

Iz poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici NEK iz leta 2017 [35] izajajo naslednje ugotovitve. Specifične aktivnosti Cs-137 v zemlji v letu 2017 so bile od 1,5 Bq/kg v globini 5–10 cm v Kusovi Vrbin do 86 Bq/kg v globini 10–15 cm v Gmajnicah. Iz rezultatov meritev je razvidno, da gre za precejšnje stresanje specifičnih aktivnosti Cs-137 v posameznih letih. Veliko stresanje izračunanih vrednosti useda Cs-137 do globine 30 cm v zadnjih letih na neobdelanih površinah lahko pripišemo nehomogenosti useda, izpostavljenosti lokacij poplavam (Kusova Vrbin) ter zapletenosti mehanizma migracije nanosa (depozita) na mikrolokacijah, saj očitno ni korelacije niti na zelo bližnjih mestih vzorčevanja (Gmajnice). To ugotovitev lahko podkrepimo, če ugotavljamo premikanje težišča nanosa v globino na lokaciji Kusova Vrbin. Opazimo lahko izrazita skoka v globini težišča, ki sta vsekakor posledica poplav, ki so povzročile dodaten nanos sveže mivke. To je tudi razlog, da je prodiranje Cs-137 v zemljo navidezno hitrejše kot na drugih dveh lokacijah. Začetna globina težišča nanosa na lokaciji Kusova Vrbin, če upoštevamo podatke od leta 1992, pa je ustrezno večja. Iz podatkov je razvidno, da šele 10-letno drseče povprečje izpovpreči lokalno nehomogenost useda in vpliv hidrogeoloških procesov v zgornjih plasteh. Na vseh lokacijah je opazno zniževanje usedov z leti, najizrazitejše je v Kusovi Vrbin, v Ameriki se je v zadnjih 5 letih zniževanje usedov praktično ustavilo, v Gmajnicah pa stresanje izmerkov kaže na veliko nehomogenost useda.

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolju v Republiki Sloveniji se meri used do globine 15 cm v Ljubljani, Kobaridu in Murski Soboti. V letu 2017 so bili na teh lokacijah izmerjeni povprečni usedi Cs-137 ($7,7 \pm 0,1$) kBq/m², ($9,0 \pm 0,09$) kBq/m² in ($1,89 \pm 0,04$) kBq/m². Te vrednosti v povprečju presegajo oziroma so primerljive z vrednostmi, ki so bile izmerjene do globine 15

cm v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki, kjer so bili izmerjeni usedi $(6,0 \pm 0,09)$ kBq/m², $(0,53 \pm 0,02)$ kBq/m² in $(3,6 \pm 0,2)$ kBq/m². Primerjava rezultatov tako ponovno kaže na to, da izmerjeni used Cs-137 v okolici NEK ni posledica izpustov NEK.

Specifične aktivnosti Sr-90 v letu 2017 so bile v razponu od 0,07 Bq/kg v Kusovi Vrbini v globini 0 - 5 cm do 1,9 Bq/kg v globini 15–30 cm v Gmajnicah. Vzrok za nekoliko nižje specifične aktivnosti v Kusovi Vrbini je močnejše izpiranje zemljine z vodo, saj področje leži na poplavnem območju.

Tudi usedi Sr-90 na lokacijah v okolici NEK do globine 15 cm so v okviru stresanja izmerkov v povprečju nižji kot na lokacijah iz nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji.

Sicer so se v izpuhu NEK, poleg kratkoživih radionuklidov, v letu 2017 pojavili tudi Co-60, Te-123m, Te-125m, Te-127m in Cs-137, katerih prisotnost v usedu zemlje ni bila zaznana.

Nobeden izmed radionuklidov, ki so bili prisotni v tekočinskih izpustih, ni bil izmerjen v vzorcih zemlje. Izjema je Cs-137, pri katerem pa izmerjene specifične aktivnosti na lokacijah okrog NEK v primerjavi z vrednostmi na referenčni lokaciji v Ljubljani kažejo, da ni posledica izpustov iz NEK, temveč zgolj globalne kontaminacije.

Naravni radionuklidi, potomci uranove in torijeve razpadne verige, ter K-40 so v zemlji porazdeljeni enakomerno, razen Pb-210, ki se useda iz zraka kot potomec Rn-222. Potomca iz torijevega razpadnega niza Ra-228 in Th-228 sta v ravnovesju v vseh globinah in na vseh lokacijah. U-238 in Ra-226 nista v ravnovesju, ker je uran v vodi topnejši od radija in se zato bolj izpira. Rezultati meritev kažejo, da so specifične aktivnosti potomcev uranove in radijeve razpadne vrste ter K-40 na lokacijah, ki so izpostavljene rednim poplavam, nižje. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji (K-40, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228) se ujemajo s povprečnimi specifičnimi aktivnostmi, ki jih za države južne Evrope navaja UNSCEAR [35].

Hrana in krmila

Za potrebe ničelnega monitoringa za odlagališče NSRAO v Vrbini smo določili ničelne koncentracije radionuklidov v vzorcih iz prehranjevalne verige. Vsebnosti umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90/Sr-89 ter naravnih radionuklidov v hrani smo primerjali z izsledki raziskav rednega letnega nadzora (monitoringa) radioaktivnosti v okolici NEK [34].

Na več kot polovici kmetijskih zemljišč na krško-brežiškem polju se prideluje hrana (žitarice, sadje, zelenjava). Vzorčevanje živil poteka na mestih, ki imajo podobno sestavo tal kot tista pri vzorčevanju zemlje. Za zemljo je značilna pedološka raznolikost (obrečni peščeni aluvij, diluvialna ilovica s kremenovimi produkti, apnenec). Zaradi odvisnosti prenosnih faktorjev, ki so merilo količine vnosa radionuklidov v prehranjevalno verigo in od vrste tal, naj bi bila hrana in zemlja vzorčevani na istih lokacijah. Poleg lokacije odlagališča NSRAO v Vrbini (krmila) so bila druga odvzemna mesta vzorcev hrane in krmil naslednja: Pesje (sadje, povrtnine in poljščine), Brege (sadje, krmila, mleko), Spodnji Stari Grad (sadje, žitarice, mleko), Libna (sadje, povrtnine in poljščine, meso, krmila, mleko), Dolenja vas (sadje, povrtnine in poljščine, meso, jajca, krmila), Gornji Lenart (sadje, povrtnine in poljščine, meso, jajca, krmila), Stara vas (povrtnine in poljščine, meso, krmila), Žadovinec (krmila).

V vzorcih hrane so bile izmerjene vsebnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in vsebnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Zavod za varstvo pri delu (ZVD) je opravil vzorčevanje in meritve vseh vzorcev hrane in krmil.

V okviru določanja ničelne radiološke slike na lokaciji odlagališča NSRAO v Vrbin je bilo opravljenih 46 meritev različnih vrst živil. Živila živalskega izvora, poljščine, povrtnine in sadje so bili vzorčevani v sredini septembra 2006. Iz izračunanih koncentracij umetnih in naravnih radionuklidov v živilih, odvzeti na lokaciji odlagališča NSRAO, lahko ugotovimo, da so te vrednosti v okviru statistične negotovosti enake koncentracijam, izračunanim v evalvacijah rednega radiološkega nadzora v okolici NEK v zadnjih letih, ter da z vidika zdravstvene problematike ne pomenijo povečanega tveganja za okoliško prebivalstvo.

Tako bi odrasla oseba, ki uživa le hrano z omenjenega področja, zaradi obsevanja z naravnimi radionuklidi prejela efektivno dozo (41 ± 9) μSv , pri čemer ne upoštevamo prispevka K-40 in vsebnosti radionuklidov v krmilih. K dodatni dozi največ prispevata Pb-210 (15 ± 6) μSv in Ra-228 (13 ± 4) μSv , najmanj pa Be-7, ($1,6 - \text{KT}3 \pm 1 - 10 - 4$) μSv .

Povprečna koncentracija Pb-210 v hrani je ($0,13 \pm 0,2$) Bq/kg (krmil pri tem ne upoštevamo), kar je pri obravnavi ničelne radiološke slike lokacije NSRAO v Vrbin še zlasti pomembno s stališča obravnave koncentracij Rn-222 v odlagališču kot tudi njegovi bližnji okolici.

Povprečni koncentraciji Cs-137 ($0,066 \pm 0,07$) Bq/kg in Sr-90/Sr-89 ($0,12 \pm 0,1$) Bq/kg v hrani z območja Vrbine in okolice sta začetno stanje kontaminacije z umetnimi radionuklidi. Prisotnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hrani pripisujemo kontaminaciji okolja zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu.

Rezultati meritev ničelnega stanja C-14 za NSRAO kažejo podobno sliko kot rezultati meritev posebne študije C-14 v okviru radiološkega nadzora NEK v letu 2006 [36].

V okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK je v letu 2017 potekalo vzorčenje na naslednjih mestih: sadovnjak ob NEK (sadje), Pesje (mleko, zelenjava), Spodnja in Zgornja Pohanca (sadje), Brege (meso, mleko, zelenjava), Vihre (mleko, zelenjava), Vrbin (jajca, zelenjava, žito), Spodnji Stari Grad (meso, jajca, zelenjava), Žadovinec (zelenjava), Trnje (zelenjava), Leskovec (meso), Libna (grozdje). Skupaj je bilo odvzetih 32 vrst živil. Tudi v letu 2017 smo namesto vina vzorčevali dve vrsti grozdja.

Pogostost vzorčevanja je odvisna od vrste živila: mleko mesečno oziroma trimesečno za specifično meritve Sr-90/Sr-89, meso, jajca in žito enkrat letno, povrtnine, poljščine in sadje sezonsko. Vzorčevanje rastlinstva, poljščin in sadja za določanje specifične aktivnosti C-14 je potekalo v letu 2017 dvakrat (julij in september) na 16 lokacijah v okolici NEK in v Dobovi; skupaj je bilo analiziranih 33 vzorcev.

Specifične aktivnosti sevalcev gama so bile izmerjene z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 pa z radiokemijsko metodo. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama [35].

V poročilu o nadzoru radioaktivnosti v okolici NEK iz leta 2017 [35] so podane naslednje ugotovitve.

Tritij se v okviru rednega merilnega nadzora NEK v hrani ne ugotavlja.

C-14 se predvsem vgrajuje v rastline in v tej obliki vstopa v prehransko verigo ljudi. V letu 2017 so ugotavljali vsebnost C-14 v okolici NEK v jabolkih, listju jablan, ječmenu, koruzi, lucerni, travi, repici in pšenici, in sicer v juliju in septembru. Povprečne vsebnosti C-14 v živilih, vzorčevanih v okolici NEK (na razdalji do 1 km od osi reaktorja), so bile julija največje ob ograji

NEK (244 ± 5) Bq na kilogram ogljika, v zunanjem krogu (238 ± 6) Bq na kilogram ogljika in (238 ± 4) Bq na kilogram ogljika v Dobovi. Najvišja izmerjena specifična aktivnost C-14 je bila izmerjena v jabolkih v juliju (253 ± 5) Bq na kilogram ogljika. Povprečne vsebnosti C-14 v hrani in vegetaciji so bile v septembru višje kot v juliju, kar se sklada z višjimi izpusti C-14 iz NEK v juniju, juliju in avgustu 2017, ki so bile posledica izpustov iz zbiralnika za razpad plinov. Tako so bile povprečne vsebnosti C-14 v hrani in rastlinah septembra največje ob ograji NEK (263 ± 7) Bq na kilogram ogljika, sledi zunanji krog (253 ± 6) Bq na kilogram ogljika, na kontrolni točki v Dobovi pa so živila vsebovala (240 ± 6) Bq na kilogram ogljika. Najvišja izmerjena specifična aktivnost C-14 je bila izmerjena v travi v septembru (295 ± 6) Bq na kilogram ogljika, prav tako višja pa je bila vsebnost v jabolkih (288 ± 7) Bq na kilogram ogljika. Na isti lokaciji so tudi v letu 2016 opazili najvišjo vsebnost C-14 v jabolkih (330 ± 8) Bq na kilogram ogljika. Ta lokacija se nahaja jugozahodno od osi reaktorja in leži na področju, kjer ugotavljajo najvišje razredčitvene faktorje.

Specifična aktivnost Cs-137 v živilih v okolici NEK je bila do 0,14 Bq/kg in je primerljiva s specifično aktivnostjo Cs-137 v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Cs-137 izmerjena v govejem mesu ($0,14 \pm 0,02$) Bq/kg, medtem ko je bila specifična aktivnost Cs-137 v jabolkih in hruškah, vzorčevanih v sadovnjaku v neposredni bližini NEK, $< 0,001$ Bq/kg. Specifične aktivnosti Cs-137 v hrani z leti nihajo, vendar je opazna težnja zniževanja vrednosti, v večini živil (npr. v mleku) je že na ravni predčrnoobilskega obdobja.

Radionuklid Sr-90 je bil v okolici NEK v letu 2017 detektiran v vseh skupinah živil. Specifična aktivnost Sr-90 v živilih v okolici NEK je bila do 0,78 Bq/kg. Najvišja specifična aktivnost je bila ugotovljena v zeleni ($0,78 \pm 0,07$) Bq/kg. V okolici NEK v skupino živil z večjo vsebnostjo Sr-90 spada hrana rastlinskega izvora, kot je žito, podzemna in listna zelenjava, sledijo sadje, plodovke in mleko ter skupina živil živalskega izvora, kjer je povprečna specifična aktivnost Sr-90 najnižja. Tudi pri vzorčenju drugod po Sloveniji se razvrstitev skupin živil po vsebnosti Sr-90 sklada z vzorčevanjem v okolici NEK.

V hrani niso zaznali radionuklidov, ki so bodisi v zračnih bodisi v tekočinskih izpustih.

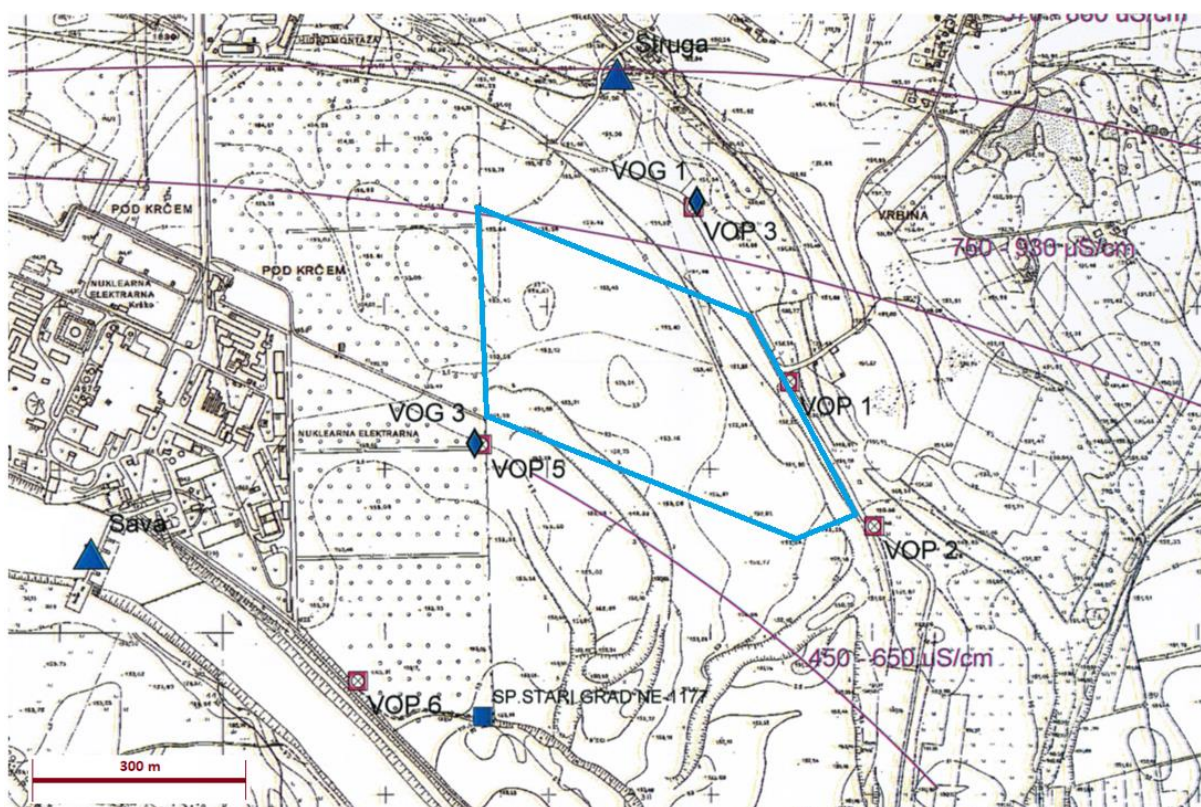
Izjemi sta Cs-137 in Sr-90, ki pa sta pretežno posledica globalne kontaminacije.

Med naravnimi radionuklidi v hrani, kamor pridejo po različnih prenosnih poteh iz zemlje, umetnih gnojil in zraka, je najbolj zastopan K-40, prisotni pa so tudi radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232. V letu 2017 je bila specifična aktivnost K-40 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, od 35 Bq/kg (jagode) do 457 Bq/kg (fižol). Od naravnih radionuklidov (brez K-40) k letni efektivni dozi zaradi uživanja hrane največ prispeva Pb-210 (63 %). Največ Pb-210 je bilo v letu 2017 v okolici NEK v listni zelenjavi. Najmanjše specifične aktivnosti pa so bile izmerjene v mleku. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Pb-210 izmerjena v bezgu (plodovke) ($2,55 \pm 0,62$) Bq/kg. Iz statistične analize merskih podatkov je razvidno, da največ naravnih radionuklidov vsebujejo žita, listna zelenjava, plodovke ter meso in jajca, kar gre na račun vsebnosti U-238 v piščančjem mesu ($0,76 \pm 0,48$) Bq/kg, najmanj pa mleko, podzemna zelenjava in sadje. Z analizo grozdov pa ugotavljajo, da razlik v vsebnosti radionuklidov v hrani iz okolice NEK in drugod po Sloveniji v večini primerov ni, saj se večinoma grupirajo glede na vrsto živila in ne na mesto vzorčevanja. Izjema je specifična aktivnost Cs-137 v mesu in jajcih, ki je drugod po Sloveniji večja od tiste v okolici NEK, in pa skupina plodovk, ki vsebuje več U-238 v vzorcih od drugod po Sloveniji, kot je v okolici NEK.

Vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v hrani z leti nihajo. V letu 2017 so bile izmerjene specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v hrani iz okolice NEK primerljive s tistimi iz preteklih let in pa s tistimi, izmerjenimi v letih od 2010 do 2017 drugod po Sloveniji [35].

4.6.5 KEMIJSKA SESTAVA POVRŠINSKE VODE

Hidrološke razmere potoka Struga (slika 4-41), so odvisne od količine padavin, zato je ocenjeno, da so lahko razmere v potoku, v času povišanih temperatur, pomembno slabše od razmer v času izvedenega vzorčenja. Spremenljive razmere so bile posledica padavin, kar se kaže tudi v občasno povečani vsebnosti organskih snovi. Enaka ugotovitev velja tudi za amonij in spojine fosforja. Podobna dinamika obremenitev se kaže tudi s kloridom in sulfatom, ter težkimi kovinami, čeprav so te obremenitve po absolutni vrednosti, nepomembne.



Slika 4-41: Lokaciji vzorčenj na Savi in na potoku, ki je v poimenovan Struga, sta označeni z modrima trikotnikoma, lokacija bodočega odlagališča NSRAO je prikazana v modrem

V potoku Struga ni ugotovljena prisotnost organskih halogenih spojin, izraženih kot adsorbiljivi organski halogeni; nasprotno pa je v Savi ugotovljena njihova zelo visoka vsebnost, zaradi katere standardi kakovosti za reko Savo niso izpolnjeni. V potoku Struga in tudi v reki Savi ni bila ugotovljena prisotnost mineralnih olj, pesticidov, spojin iz skupine PAO niti lahkih in težkih halogeniranih in aromatskih ogljikovodikov.

Vzorci površinske vode iz vodotokov Struga in Sava pripadajo Ca-Mg-HCO₃ hidrokemijskemu faciesu po Jäckliju in so podobni karbonatnemu tipu vode po D'Amoreju [14].

4.7 Ocena tveganj, značilnih za območje lokacije odlagališča

Osnutek Varnostnega poročila je pripravljen za namen pridobitve okoljevarstvenega soglasja in zato obravnava predvsem podatke povezane z varstvom okolja. Odlagališče je načrtovano tako, da so vsa tveganja zaradi naravnih vplivov praktično zanemarljiva. Z namenom zagotavljanja poplavne varnosti je odlagališče načrtovano na platoju, ki zagotavlja, da poplavne vode v nobenem scenariju ne morejo doseči objektov odlagališča. Načrtovane konstrukcije vseh objektov odlagališča so protipotresno varne in usklajene z zakonskimi zahtevami ter priporočili.

V času obratovanja bodo objekti odlagališča obdani z ograjo. Zagotovljeno bo tudi fizično ter tehnično varovanje odlagališča. S tem bo zagotovljena varnost pred vstopom nepooblaščenih oseb na območje odlagališča NSRAO.

Lokacija za odlagališče NSRAO se nahaja v območju omejene rabe, to je v širšem območju nadzorovane rabe z radijem 1500 m od reaktorja Nuklearne elektrarne Krško. Omejitve za posege v prostor določa Uredba o območjih omejene rabe prostora zaradi jedrskega objekta in o pogojih gradnje objektov na teh območjih (UV3). Na območju nadzorovane rabe gradnja stanovanjskih stavb ni dovoljena. Urejanje prostora določajo prostorski akti. Posegi morajo biti skladni z določili državnega prostorskega načrta (DPN) za odlagališče NSRAO. Za posege na območju DPN za odlagališče NSRAO mora investitor za načrtovani poseg pridobiti mnenje ARAO.

Razvoj prostora na občinski ravni ureja Občina Krško. Nadzor nad rabo prostora imajo nosilci urejanja prostora. Nadzor nad zračnim prostorom se izvaja zaradi območja nadzorovane rabe vojaškega letališča Cerklje. Za področje sevalne in jedrske varnosti je nosilec urejanja prostora Uprava RS za jedrsko varnost, nadzor pa izvajata tudi NEK in ARAO kot obstoječi in bodoči upravljalec jedrskega objekta. V času predvidenega nadzora po zaprtju bo imela nadzor Uprava RS za jedrsko varnost in ARAO oz. upravljavec odlagališča. Morebitne dodatne omejitve po zaprtju odlagališča bodo opredeljene v varnostnem poročilu ob zaprtju odlagališča NSRAO.

Po zaprtju bodo odpadki varno odloženi v zaprtem betonskem silosu, ki bo imel betonski pokrov, na katerem bo več metrov debela plast gline. S tem bo praktično onemogočen dostop do radioaktivnih odpadkov. Območje omeje rabe zaradi odlagališča je predvideno na ograji odlagališča, po zaprtju pa je določeno z radijem 50 m od silosa. V času institucionalnega nadzora se bo vedenje o odlagališču ohranjalo (predvsem v prostorskih aktih, ograja ipd.) tako, da bo zato območje predpisana omejena raba prostora.

V vseh življenjskih fazah odlagališča bo ARAO obravnaval možne optimizacije in izboljšave, skladno z dobro mednarodno prakso in predpisi, če bi bilo ugotovljeno, da je varnost objekta mogoče izboljšati s spremembami v projektu, načinu obratovanja, vzdrževanju, preizkušanju, usposabljanju ali postopkih, in to kljub temu, da odlagališče že izpolnjuje vse predpisane zahteve za varnost, bo taka rešitev ustrezno implementirana.

Podrobneje so scenariji in ocene tveganj podane v 7 poglavju tega poročila.

Možna povečana tveganja za območje odlagališča NSRAO v tej fazi niso prepoznana. Se bodo pa skladno z novimi podatki o lastnostih obravnavanega območja, ki se bodo pridobivali v vseh fazah projekta, tveganja ovrednotila in upoštevala.

Ocene tveganj se bodo posodabljele ob revizijah varnostnega poročila za odlagališče NSRAO. Oceno tveganj bo potrebno posodobiti ob vsakršni bistveni spremembi lastnosti območja lokacije ali spremembi zakonodaje in prostorskih ureditev, ki veljajo za območje odlagališča NSRAO ali se kako drugače nanašajo na odlagališče NSRAO.

4.8 Vpliv okoliških objektov na odlagališče

Vsi obstoječi objekti v okolici odlagališča NSRAO so bili upoštevani pri načrtovanju odlagališča. Odlagališče je načrtovano tako, da ti objekti na odlagališče NSRAO ne bodo vplivali oz. so bili morebitni vplivi upoštevani.

4.8.1 JEDRSKA ELEKTRARNA KRŠKO

Jedrska elektrarna Krško (NEK) se nahaja cca. 300 m vzhodno od zahodne meje od lokacije odlagališča NSRAO. NEK je opremljen z Westinghousovim lahkovodnim tlačnim reaktorjem. Njena trenutna bruto električna moč znaša 727 MWe in neto proizvodnja 696 MWe. NEK deluje od leta 1983. Vsi glavni objekti nuklearne elektrarne so zgrajeni na armiranobetonski platformi, ki se nahaja na pliocenski podlagi Krške kotline. NEK za potrebe hlajenja uporablja vodo iz reke Save, ki jo nato vrača v reko pod jezom, ki se nahaja na območju elektrarne. V primeru nižjih vodostajev reke Save se hlajenje sistemov NEK izvaja s pomočjo hladilnih stolpov.

Sredica reaktorja je sestavljena iz 121 gorivnih elementov. Nekateri gorivni elementi vsebujejo gorljive nevtronske absorberje, 33 gorivnih elementov pa vsebuje nevtronske absorpcijske palice, ki so med obratovanjem izvlačene. Gorivne palice vsebujejo keramične UO₂ pelete, ki so obogatene z U-235. V sredici poteka cepitev jeder. Pri cepitvi nastanejo od dva do trije nevtroni. Od nevtronov, nastalih pri cepitvi, samo eden v povprečju cepi novo fisijsko jedro, preostali pa pobegnejo iz sredice reaktorja ali pa se ujamejo v gorivu, kjer lahko tvorijo nova cepljiva jedra.

Po podatkih poročil o monitoringu vpliva NEK na okolje je le ta zanemarljiv [34]. V letu 2010 je edini radionuklid, ki je bil zaznan v okolju in je posledica delovanja elektrarne, je H-3. Ta je bil izmerjen v reki Savi in tudi v podtalnici in to v koncentracijah, ki so pod dovoljeno mejo za pitno vodo. Radioaktivni izpusti Krško NEK so pod omejitvami. V letu 2010 je bila zaradi prisotnosti NEK do dodatne efektivne doze na prebivalca, nižja od 0,1 mSv na leto.

Pri normalnem delovanju, NEK ne bo vplivala na delovanje odlagališča NSRAO, vendar pa se pričakuje, da bi lahko radiološke nesreče vplivale na delovanje odlagališča NSRAO. Zato se bo pri oblikovanju načrta za ukrepanje ob nesrečah to tudi upoštevalo pri odlagališču NSRAO in to tako, da bodo upoštevane tiste radiološke nesreče, ki bi lahko vplivali na delovanje odlagališča [39].

4.8.2 TERMoeLEKTRARNA BRESTANICA

TE Brestanica se nahaja 7,5 km severno od lokacije odlagališča NSRAO. Je ena izmed najstarejših delujočih elektrarn v Sloveniji. Njeni začetki segajo v leto 1939, ko se je pričela gradnja in postavitve prvega parnega bloka na osnovi premogovne tehnologije. Elektrarna je pričela obratovati julija 1943.

Ker so konec 60. let so pričeli z izgradnjo plinsko-parne elektrarne na primarni bencin in kurilno olje, se je vloga elektrarne spremenila, saj je s hitrimi in prilagodljivimi plinskimi bloki postala

proizvajalec vršne oziroma konične energije. Poleg tega je imela zaradi možnosti zagona plinskih blokov iz breznapetostnega stanja pomembno vlogo pri zagotavljanju sistemskih storitev za elektroenergetski sistem.

Konec 90. let sta bila za potrebe vršne energije in zagotavljanje sistemskih storitev za potrebe elektroenergetskega sistema zgrajena plinska bloka PB4 in PB5. S postavitvijo teh dveh blokov je elektrarna dosegla bistveno večjo zmogljivost in je postala sodoben proizvodni objekt za zanesljivo proizvodnjo električne energije. Njene naprave za proizvodnjo električne energije imajo po zadnji dograditvi skupno 297 MW moči, ki jo z elektroenergetskim sistemom Slovenije povezuje 110-kilovoltno stikališče. Moč termoelektrarne znaša približno 10 % zmogljivosti celotnega elektroenergetskega sistema Slovenije.

V zadnjih letih je bila termoelektrarna modernizirana in posodobljena v smislu zniževanja škodljivih emisij v ozračje. Elektrarna deluje tudi skladno s standardom ISO 14001 in tako zagotavlja skladnost delovanja s predpisi, ki urejajo okoljske vidike in to v normalnih obratovalnih in izrednih razmerah.

Glede na oddaljenost TE Brestanica od lokacije odlagališča NSRAO, tudi v primeru večje nesreče ni pričakovati vpliva na odlagališče NSRAO [40].

4.8.3 VIPAP

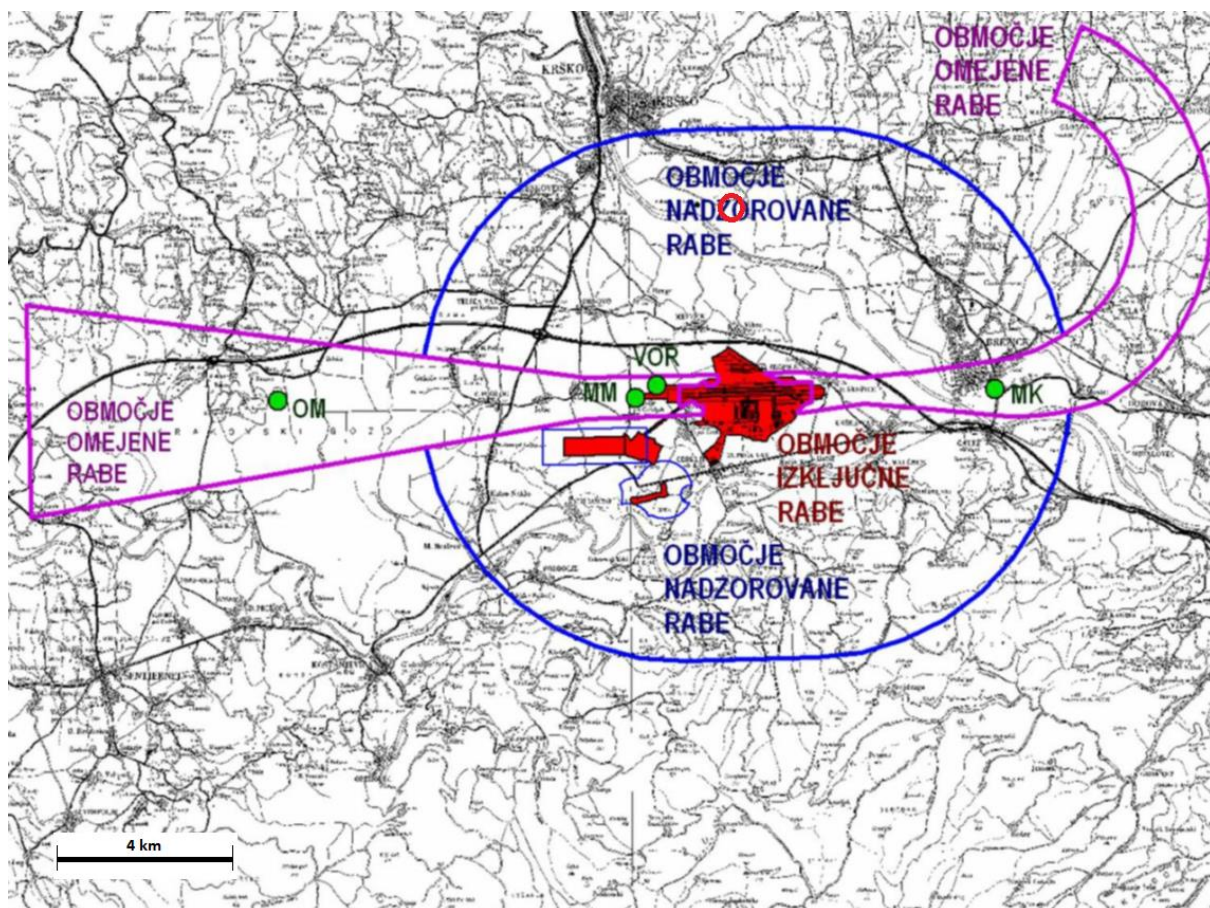
Tovarna papirja VIPAP Videm Krško d.d. se nahaja 2 km od lokacije NSRAO in to gorvodno na levem bregu Save. Vipap se ukvarja s proizvodnjo papirja, trgovanjem papirja in kartona. Do leta 2006 je tovarna izdelovala tudi papirne kaše in celuloze kot surovine, vendar je bila iz okoljskih razlogov proizvodnja ustavljena. Podjetje sedaj proizvaja grafični in časopisni papir. Gorljive, vnetljive in eksplozivne snovi, ki jih uporabljajo v svojih tehnoloških procesih, zaradi oddaljenosti in zagotavljanja ustreznih varnostnih ukrepov, ne predstavljajo tveganja za bodoče odlagališče NSRAO [40].

4.8.4 LETALIŠČE CERKLJE

Nekaj več kot 4 km južno od lokacije odlagališča NSRAO se nahaja vojaško letališče Cerklje ob Krki. Letališče je osrednje vojaško letališče v Sloveniji in je opremljeno predvsem za potrebe Slovenske vojske in tudi potrebe zavezništva Nato. Na letališču deluje tudi Letalski center Cerklje ob Krki, ki ima svoje prostore na vzhodnem delu letališča in razpolaga z manjšimi šolskimi letali. V manjšem obsegu na letališču pristajajo in vzletajo tudi letala drugih letalskih centrov, organizacij in zasebnikov, občasno (v času mednarodnih vaj) pa tudi letalniki držav članic zveze NATO [41]. Letališče ima dve vzletni stezi in to v velikosti 2420 x 45 m in 2000 x 50 m. Od leta 2010 ima letališče tudi nov kontrolni stolp, ki je zasnovan po novih standardih in opremljen z najmodernejšo tehnologijo. Zaradi varnosti zračnega prometa so v njegovi okolici opredeljena tri nadzorovana območja: območje izključne uporabe, območje nadzorovane uporabe in območje omejene uporabe, ki so prikazana na sliki 4-42 [21]. Lokacija odlagališča NSRAO se nahaja v območju nadzorovane rabe letališča Cerklje.

Letalniki Slovenske vojske so oboroženi z mitraljezi kalibra 12,7 mm in nevodenimi raketami kalibra 70 mm, letalniki držav članic zveze NATO pa tudi s topom kalibra 20 mm ali 30 mm. Za urjenje v odmetavanju bomb se uporabljajo vadbene bombe BDU/IBDU majhne mase brez eksplozivnega polnjenja. Urjenje v uporabi orožja se izvaja nekajkrat letno na osrednjem vadišču slovenske vojske pri Postojni, na letališču Cerklje ob Krki se letalniki zgolj oborožijo.

Na letalih PC9 so nameščeni tudi nosilci za bombe Mk.81 (teže 113 kg) ter Mk.82 (teže 227 kg), vendar s temi bombami usposabljanja na ozemlju Republike Slovenije ne izvajajo. V načrtu izgradnje letališča je bilo predvideno tudi območje za odmetavanje nevarnega tovora, ki pa še ni zgrajeno, zato se odmetavanje takega tovora na letališču ne izvaja. V vojaških objektih letališča se trenutno skladišči gorivo tipa JET A1 in strelivo [41].



Slika 4-42: Nadzorovana območja letališča Cerklje. Območje lokacije odlagališča NSRAO se nahaja znotraj območja nadzorovane rabe in je prikazano z rdečim krogom. [21].

V letu 2017 smo zabeležili 2.653 vzletov ter 2.617 pristankov letal in helikopterjev. Največje letalo, ki je vzletelo in pristalo na letališču LJCE v letu 2017 je bilo C-17, dimenzij 53 x 51m, največje vzletne teže 265.000 kg in z največjo količino goriva 135.000 litrov [41].

Tipi in število letal s predvidenim številom premikov v obdobju enega leta na letališču Cerklje so podani v tabeli 4-8.

Tabela 4-8: Tipi in število letnih premikov letal na letališču Cerkje [21].

Tip letala	Število letal	Letno število premikov	Kategorija letala
Komercialna letala			
Komercialno letalo	6	5000	Komercialno letalstvo
Vojaška letala			
AS 532 Cougar	4	748,8	Helikopter
Be11412	8	1497,6	Helikopter
Be11206	4	748,8	Helikopter
Zlin 242	8	1996,8	Splošno letalstvo
Zlin 143	2	312	Splošno letalstvo
Pilatus PC-9	2	499,2	Majhno vojaško letalo
Pilatus PC-9M	3	750	Majhno vojaško letalo
Pilatus PC-9M	6	1496	Komercialno letalstvo
Pilatus PC-6	2	208	Majhno vojaško letalo
L-410	1	166,4	Komercialno letalstvo
C-130	6	118	Komercialno letalstvo
C-5	2	38	Komercialno letalstvo
F-18	16	104	Majhno vojaško letalo
Športna letala			
Športno letalo	4	208	Splošno letalstvo

4.8.5 OSTALI OBJEKTI IN INFRASTRUKTURA

V občini Krško je podjetje KOSTAK zadolženo za prevzem komunalnih odpadkov, njihovo predelavo in odlaganje. V neposredni bližini, vzhodno od lokacije odlagališča NSRAO, se nahaja zbirni center Spodnji Stari Grad, kjer podjetje Kostak izvaja mehansko obdelavo in sortiranje komunalnih odpadkov. Obdelane in sortirane odpadke nato oddajo uporabnikom surovin. Organske odpadke predelajo v kompost ostale odpadke pa predajo v zbirni center CEROD v Novem mestu.

Na območju Vrbine je z občinskimi prostorskimi akti določena poslovna cona v velikosti 700.000m² in se nahaja severozahodno od lokacije odlagališča NSRAO.

Poleg industrijskih območij se 800m severno od lokacije odlagališča NSRAO, nahaja glavna železniška proga Ljubljana - Zidani most - Zagreb - Beograd z gostim prometom v obeh smereh. Vzdušje železniške proge poteka tudi zmerno obremenjena lokalna cesta Krško – Brežice. Približno 4km južno od lokacije odlagališča NSRAO poteka avtocesta Ljubljana – Zagreb.

Približno 600 m južno od lokacije odlagališča poteka izgradnja akumulacijskega bazena HE Brežice. Izgradnja HE Brežice se bo končala v letu 2017, kar pomeni, da bo celoten poseg končan pred začetkom predvidene gradnje odlagališča NSRAO.

Reka Sava na tem območju ni plovna. Levi in desni breg Save povezuje most, ki se nahaja približno 3 km gorvodno od lokacije odlagališča. Ministrstvo za infrastrukturo v Sloveniji

omejuje železniški in cestni prevoz eksplozivnih in vnetljivih snovi, kakor tudi prevoz cistern, ki morajo zadostiti ustreznim tehničnim predpisom in standardom.

Letališče Zagreb se nahaja približno 50 km jugovzhodno od lokacije odlagališča NSRAO in ima 5 km dolgo asfaltno vzletno stezo in vse potrebno infrastrukturo letališča. Na letališču pristajajo komercialna letala, ki tehtajo približno 50 ton in zanemarljivo število zasebnih letal z okvirno težo 3 t. Vsi leti na in iz letališča Zagreb so nadzorovani s pomočjo letališkega stolpa po določeni trasi leta, ki pa poteka nad lokacijo odlagališča NSRAO. Letališče Jožeta Pučnika, Ljubljana se nahaja 80 km zahodno od lokacije odlagališča in ima 3km dolgo vzletno stezo. Vsi leti so ravno tako nadzorovani s pomočjo letališkega stolpa, trase letov pa ne potekajo čez lokacijo odlagališča NSRAO [40].

Scenariji potencialnih vplivov okoliških objektov in njihovih dejavnosti na objekt odlagališča NSRAO so podrobneje obdelani v poglavju 7 tega poročila.

4.9 Vpliv notranjih dogodkov na varnost odlagališča

Pri obratovanju odlagališča bodo notranji dogodki opredeljeni in obravnavani v okviru navodil in postopkov. Notranji dogodki bodo obvladovani tako, da na varnost odlagališča ne bodo vplivali.

Podrobneje so vplivi notranjih dogodkov na varnost odlagališča obdelani v poglavjih 5 in 7 tega poročila.

4.10 Ustreznost območja lokacije odlagališča za izvajanje zaščite in reševanja v primeru izrednega dogodka

Lokacija bo imela zagotovljeno ustrezno cestno infrastrukturo, ki bo zagotavljala možnost dostopa in izvajanja zaščite in reševanja v primeru izrednega dogodka. Na lokaciji odlagališča NSRAO bodo zagotovljene ustrezne površine za izvajanje vseh potrebnih ukrepov. Podrobneje je ukrepanje v primeru izrednega dogodka opisano v dokumentu Ukrepanje v primeru izrednega dogodka na odlagališču NSRAO [42] in predstavljeno v 14. poglavju tega osnVP.

4.11 Nadzor dejavnikov, povezanih z območjem lokacije odlagališča

V vseh fazah odlagališča NSRAO bo potrebno spremljati potencialne spremembe dejavnikov, ki so povezani z lastnostmi območja odlagališča. Podatke, ki so povezani z širšim območjem lokacije odlagališča bomo pridobivali s pomočjo državnih institucij kot so ARSO, SURS, MOP in ostali, ki izvajajo monitoring različnih parametrov na tem območju. Ravno tako bomo pri spremljanju sprememb širšega območja lokacije odlagališča NSRAO sodelovali z ostalimi upravljavci objektov na tem območju. Tu nam bodo predvsem v pomoč podatki monitoringa, ki ga izvajata NEK in HE Brežice. V okviru te dejavnosti se bodo spremljali in analizirali pridobljeni

podatki s področij meteorologije, hidrologije, hidrogeologije, demografskih podatkov, spremembi infrastrukture in prometa, radioloških značilnosti in seizmike tega območja.

Nadzor dejavnikov povezanih z območjem lokacije odlagališča NSRAO bo potekal skladno s potrjenim načrtom monitoringa lokacije v vseh fazah odlagališča ta pa je podrobneje opredeljen v 15. poglavju tega osnVP.

4.12 LITERATURA

- [1] *Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško, Idejna zasnova Rev.C.* 2016.
- [2] *Državni prostorski načrt za odlagališče NSRAO na lokaciji Vrbina v občini Krško - Sprejet dokument, 07 - 180 - 00, NSRAO - Vrb-pDPN 01-09, 02-01-067-006, december 2009.* Acer Novo mesto do.o., Savaprojekt d.d.
- [3] "Internetna stran Občine Krško." [Online]. Available: <http://krsko.si/7/obcina-krsko>.
- [4] "Podatki o mestu Zagreb." [Online]. Available: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zagreb>.
- [5] S. Založnik, "DEMOGRAFSKE IN SOCIALNE ZNAČILNOSTI OBČIN SPODNJEGA POSAVJA NA OSNOVI MODELA," *Deja*, vol. Vol. 38, pp. 39–53, 2012.
- [6] "Spletna stran Statistični urad Republike Slovenije." [Online]. Available: <http://www.stat.si/statweb>.
- [7] *Okoljsko poročilo za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO), april 2009.* GEATEH.
- [8] M. Kobold, "Primerljivost poplave septembra 2010 z zabeleženimi zgodovinskimi poplavnimi dogodki," *UJMA*, 2011.
- [9] *Atlas okolja.* .
- [10] *HIDRAVLICNA ANALIZA VPLIVNEGA OBMOČJA ODLAGALIŠČA NIZKO IN SREDNJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV VRBINA, KRŠKO, julij 2015.* UL, FGG, Katedra za mehaniko tekočin.
- [11] *Izvedba hibridnih hidravličnih modelov za območje spodnje vode HE Krško, območje HE Brežice in območje HE Mokrice, 2011.* FGG, Hidroinštitut in IBE.
- [12] *PGD, HE Brežice / infrastrukturne ureditve, Vodilna mapa.* IBE d.d, 2014.
- [13] *Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško / Kote odlagališča in dostopne ceste, avgust 2015.* IBE d.d.
- [14] *Poročilo o izvedbi programa dopolnilnih začetnih terenskih in laboratorijskih raziskav geosfere in hidrosfere za potencialno lokacijo Vrbina-Krško, rev.1., J.V. GeoZS, ZAG, Geoinženiring, IRGO, ZZVMB, 2009.*
- [15] *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.
- [16] *Hidrogeološko poročilo o izvedenem črpalnem poizkusu v vrtini VOP-8, november 2015, IRGO.* .
- [17] *Nadgradnja hidrogeološke interpretacije podatkov monitoringa na širšem območju lokacije za odlagališče NSRAO na Vrbini v občini Krško, rev 1., 2016.* IRGO Inštitut.
- [18] *Nadgradnja hidravličnega modela za odlagališče NSRAO, rev 1., 2015.* HGEM d.o.o. in GEORAZ d.o.o.
- [19] *Začetne terenske raziskave geosfere in hidrosfere za potencialno lokacijo Vrbina v občini Krško, Končno poročilo, sklop 1 - 8, J-II 30*b14-2/6, NSRAO-Vrb-ŠV/TR 02/06, T-2116, 02-01-069-008, rev 1, november 2006.* ZAG, GeoZS, Geoinženiring, ZZVM.
- [20] *Posebna varnostna analiza za umestitev odlagališča NSRAO, Lokacija Vrbina v občini Krško, dec.2006.* ARAO, DDC, ZVD, ZAG in Imos Geateh.
- [21] *Updated safety analyses report, rev. 21, NE Krško.* .
- [22] *IAPŠ, Sončna energija v Sloveniji, 2007.* .

- [23] "Spletna stran ARSO - Projekt PPS," 2017. .
- [24] *Izvedba seizmološke analize lokacije (geološki del) za objekt odlagališče NSRAO Vrbin, rev 1, 2015.* GeoZS.
- [25] *Poročilo o dodatnih preiskavah za projekt Glavne raziskave geo in hidrosfere za potrebe graditve odlagališča NSRAO Vrbin, Krško, rev 1., 2015.* Zavod za gradbeništvo Slovenije.
- [26] R. Associates, *Final Report Characterization of the Libna Fault and Tectonic Framework of the Krško Basin.* 2013.
- [27] ARSO, *Izvedba seizmološke analize lokacije za objekt odlagališča NSRAO Vrbin, marec 2015.* .
- [28] *Seizmološka analiza lokacije .* FGG, IKPIR, 2008.
- [29] *Seizmične obremenitve pripovršinskega odlagališča NSRAO Vrbin, junij 2015.* Univerza v Ljubljani, FGG, IKPIR.
- [30] *Seizmične obremenitve pripovršinskega odlagališča NSRAO Vrbin, Dopolnitev: Projektne potresni parametri za izračun praznega silosa, november 2015.* Univerza v Ljubljani, FGG, IKPIR.
- [31] Rizzo Associates, *Seismic Design Requirements for LILW Repository in Slovenia, april 2015.* .
- [32] *Revised PSHA for Krško site, PSR-NEK-2.7.2, rev 1, 2004.* FGG, IKPIR.
- [33] "Spletna stran URSJV." [Online]. Available: <http://www.ursjv.gov.si/>.
- [34] *Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2006.* IJS, 2007.
- [35] *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2017.* IJS, 2018.
- [36] IJS, *Končno poročilo o izvedbi meritev po programu ničelnih meritev radiološkega stanja na potencialni lokaciji Vrbin, 2007.* .
- [37] URSJV, *Letno poročilo o jedrski in sevalni varnosti v letu 2005, 2006.* .
- [38] URSJV, *Poročilo o jedrski in radiološki varnosti v letu 1994, 1995.* .
- [39] *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.
- [40] 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.
- [41] *Dopis MORS: Vpliv letališča Cerklje na odlagališče radioaktivnih odpadkov.* MORS, dopis št. 372-29/2018-7, z dne 12. 01. 2018.
- [42] *Ukrepanje v primeru izrednega dogodka na odlagališču NSRAO, referenčna dokumentacija za osnVP, NSRAO2-POR-007-00 02-08-011-003.* ARAO, Simona Sučić, 2016.