

Gregor Omahen

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH, ODLAGALIŠČE BORŠT

POROČILO ZA LETO 2025

obdobje do prenosa upravljanja odlagališča na Agencijo za
radioaktivne odpadke



ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Center za fizikalne meritve, Laboratorij za specifične meritve aktivnosti radionuklidov

© 2026 ZVD d.o.o.

Poročilo vsebuje skupaj 80 strani ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti.

Izdal: ZVD zavod za varstvo pri delu d.o.o., Ljubljana, marec 2026

Slika na naslovnici: Geodetska točka II-GPS in točka GNSS GMX-2 na odlagališču Boršt © Hiacinta Klemenčič

Slika na zadnji strani: Piezometriški par GP-28 in GP-29 z geodetskima točkama na severnem delu plazu Boršt © Hiacinta Klemenčič

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Pot k izviru 6, 1260 Ljubljana-Polje, Slovenija

T: +386 (0)1 585 51 00; F: +386 (0)1 585 51 01; E: info@zvd.si; W: www.zvd.si

ID št. za DDV: SI21282692; Matična št.: 5055580

Vpis družbe: Okrožno sodišče v Ljubljani, vložna št.: 10024700

Naročnik:	RUDNIK ŽIROVSKI VRH, javno podjetje za zapiranje rudnika urana, d.o.o Todraž 1, 4224 Gorenja vas
Izvajalci meritev:	ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o. Pot k izviru 6, 1260 Ljubljana Polje Institut »Jožef Stefan« Jamova 39 1000 Ljubljana Eurofins raziskave okolja Slovenija d.o.o. Koroška cesta 58 3320 Velenje
Naročilnica številka:	129/1/26 z dne 17.2. 2026 (RŽV, d.o.o.)
Nosilec naloge:	dr. Gregor Omahen
Naslov poročila:	Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh, odlagališče Boršt, poročilo za leto 2026
Avtor poročila:	dr. Gregor Omahen, univ.dipl.fiz.
Številka poročila:	LMSAR-27/2026
Datum poročila:	18.03.2026
Izvajalci meritev:	
Zavod za varstvo pri delu:	dr. Gregor Omahen, dr. Marko Giacomelli, Matija Škrlep, Dušan Konda, Majda Levstek, dr. Andrej Žohar
Institut »Jožef Stefan«:	doc. dr. Marko Štok, dr. Leja Rovn Stiplošek, dr. Tjaša Kanduč, dr. Toni Petrovič, mag. Branko Vodenik, dr. Marijan Nečemer, Boštjan Črnič, mag. med. fiz, doc. dr. Benjamin Zorko, Petra Prem, prof. biol., Rok Opaškar, dr. Helena Fajfar, dr. Urška Gradišar Centa
Slika na naslovni strani:	Geodetska točka II-GPS in točka GNSS GMX-2, v letu 2025 opremljena v čezmejnem projektu Interreg Podonavje SAFETY4TMF, foto Hiacinta Klemenčič
Kopije:	Naročnik RŽV, d.o.o (6 x) Arhiv CFM (1x) Nosilec naloge (1 x)

NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH,
ODLAGALIŠČE BORŠT, POROČILO ZA LETO 2025**

Avtorji

dr. Gregor Omahen

KLJUČNE BESEDE:

Rudnik urana, zaprto odlagališče hidrometalurške rudarske jalovine, radioaktivnost v okolju, dolgoživi radionuklidi, kemijski onesnaževalci, emisije, imisije, razpadni produkti, ocena izpostavljenosti za prebivalstvo.

POVZETEK:

Meritve radioaktivnosti v okolju nekdanjega Rudnika urana Žirovski vrh v letu 2025 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi odlagališča Boršt za odraslega prebivalca $6,1 \pm 4,1 \mu\text{Sv}$, za otroka starega 10 let $6,1 \pm 3,4 \mu\text{Sv}$ in za otroka starega 1 leto $6,1 \pm 3,6 \mu\text{Sv}$, kar predstavlja približno 0,6 % dovoljene letne doze za prebivalstvo.

REPORT TITLE:

**MEASUREMENTS OF THE RADIOACTIVITY IN THE ŽIROVSKI VRH URANIUM
MINE ENVIRONMENT, BORŠT MILL TAILINGS SITE, REPORT FOR THE YEAR 2025**

Authors:

Gregor Omahen, Ph.D

KEYWORDS

Uranium mine, Boršt Mill Tailings Site, closed mining waste disposal site, environmental radioactivity, long-lived radionuclides, chemical pollutants, emission, imission, decay products, assessment of public exposure

ABSTRACT:

Measurements of radioactivity in the environment of the former uranium mine at Žirovski vrh showed that the annual effective dose due to Boršt Mill Tailings Site in the influence area of a closed uranium mine for adult inhabitant in the year 2025 was about $6,1 \pm 4,1 \mu\text{Sv}$, for 10 years old child $6,1 \pm 3,4 \mu\text{Sv}$ and for 1 year old child $6,1 \pm 3,6 \mu\text{Sv}$. This represents approximately 0,6 % of authorized dose limit for public exposure.

KAZALO

UVOD	8
I. METODE MERJENJA	12
I.1 ZRAK	12
I.2 VODE	12
I.3 SEDIMENTI.....	13
I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	13
II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI.....	15
II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2025 15	
II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT.....	21
III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2025	29
III.1 ZRAK.....	29
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210.....	29
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju	29
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov.....	36
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODZEMNA VODA.....	37
III.2.1 Vodotoki	37
III.3 SEDIMENTI	47
III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA	52
III.5 RIBE	53
III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	53
IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA	55
IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	55
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	55
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	56
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	56
IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....	58
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana	58
IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda	58
IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....	60
IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	60
IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci	60
IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč	61
IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV	61
IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV	63

V. PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI Z AVTORIZIRANIMI VREDNOSTMI.....	64
VI. ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV ODLAGALIŠČA BORŠT ZA LETO 2025	67
VII.PREDLOGI.....	70
VIII. REZULTATI MERITEV	71

UVOD

Sistematski in celovit nadzor nad radioaktivnostjo v okolici rudnika urana Žirovski vrh poteka redno in neprekinjeno od decembra 1984, ko so v rudniku pričeli s poskusno proizvodnjo uranovega tehničnega koncentrata. Z rudarjenjem so prenehali julija 1990. Proizvodnja uranovega tehničnega koncentrata je bila z odločbo Ministrstva za energetiko ustavljena, 24. julija 1992 pa je parlament sprejel zakon o trajnem prenehanju izkoriščanja uranove rude.

V času obratovanja rudnika urana od 1985 do 1990 je program nadzora radioaktivnosti upošteval osnovne značilnosti obratovanja rudnika urana in njegovega okolja. Pri nadzoru so bile upoštevane lokacije in značilnosti emisijskih virov in specifičnosti življenjskega okolja.

Program nadzora med obratovanjem je temeljil na izhodiščih, navedenih v ameriških navodilih U.S. NRC Regulatory Guide 4.14 (1980) [1] in ga je potrdila tudi Strokovna komisija za jedrsko varnost. V programu so bile upoštevane vse možne prenosne poti razširjanja radioaktivnih snovi v okolje. Upoštevani so bili vsi možni mediji: zrak (aerosoli, radon in njegovi kratkoživi potomci), voda (površinske vode in podzemna voda), vodna biota (ribe), sedimenti, kmetijski pridelki in krma (seno) ter zemlja.

Prenehanje obratovanja rudnika v letu 1990 je zahtevalo določene spremembe v samem programu nadzora. Opuščene so bile trenutne meritve koncentracij radona v zraku v okolici rudnika, meritve specifičnih aktivnosti dolgoživih radionuklidov v bioindikatorjih (lišajih) in v Brebovščici pred izpusti iz rudnika. V programu se je upoštevalo, da so odlagališča tehnološke jalovine in jamske izkopenine v pripravljalni fazi pred dokončno sanacijo. Vsa ta izhodišča pri spreminjanju programa so bila potrjena na 4. seji Strokovne komisije za varstvo pred ionizirajočimi sevanji pri Ministrstvu za zdravje dne 17.6.1992.

Po letu 2005, ko so bili zaprti vsi vstopi v jamo, je program nadzora radioaktivnosti v okolici potekal v skladu z Letnim programom nadzora radioaktivnosti okolja RŽV med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt, h kateremu je Uprava RS za jedrsko varnost dala soglasje št. 39202-1/2005/11 z dne 01.06.2005. Letni program za obdobje pred zaprtjem in v obdobju dolgoročnega nadzora je naveden v Varnostnem poročilu za odlagališče rudarske jalovine Jazbec. V primerjavi s programom, ki se je izvajal v obdobju 1992-2005, se po letu 2005 ne izvajajo redne vsakoletne meritve radioaktivnosti v hrani in ribah, mesečne meritve koncentracije radona s kasetami na aktivno oglje, meritve koncentracije radonovih razpadnih produktov, meritve ekshalacije radona, meritve koncentracije radionuklidov v zemlji in meritve koncentracije radionuklidov v krmi oziroma se nekatere od teh meritev izvede občasno. Prav tako je bil obseg meritev koncentracij radionuklidov v sedimentih, vodi in meritev zunanjega sevanja precej zmanjšan. Opuščena so bila vzorčenja in analize, pri katerih so bile vrednosti analiz vzorcev v preteklih letih na meji detekcije uporabljenih metod, prispevki k dozi pa majhni oziroma zanemarljivi in se v zadnjih letih niso spreminjali. Pri vseh je bil opazen trend upadanja zaradi opustitve izvajanja del in postopnega saniranja rudniških objektov, vključno z odlagališči jamske in hidrometalurške jalovine.

Konec leta 2015 so bili na odlagališču Jazbec izpolnjeni vsi pogoji za začetek izvajanja gospodarske javne službe ravnanja z radioaktivnimi odpadki na področju dolgoročnega nadzora in vzdrževanja zaprtih odlagališč rudarske in hidrometalurške jalovine, ki nastane pri pridobivanju in izkoriščanju jedrskih mineralnih surovin (GJS). Obseg GJS določa Uredba o načinu in pogojih izvajanja obvezne državne gospodarske javne službe za ravnanje z radioaktivnimi odpadki (Uradni list RS, št. 8/22 in 19/24). Gospodarsko javno službo ravnanja z radioaktivnimi odpadki skladno z ZVISJV-1 izvaja Agencija za radioaktivne odpadke, ki je v letu 2016 od države dobila tudi pooblastilo za upravljanje zaprtega odlagališča Jazbec, medtem, ko je odlagališče Boršt do zaprtja upravljal RŽV, d.o.o. Odlagališče Jazbec ni več sevalni objekt. Uprava RS za jedrsko varnost je v dovoljenju za izvajanje dolgoročnega nadzora in vzdrževanja odlagališča rudarske jalovine Jazbec št. 3570-7/2015/2 z dne 3.6.2015 upravljalcu Agenciji za radioaktivne odpadke odredila, da se do predložitve in potrditve novega programa dolgoročnega nadzora ta izvaja po programu monitoringa in načrta dolgoročnega nadzora, ki je sestavni del Dopolnitve varnostnega poročila, Re. A, UZVJ – OP/01A in sicer za (zadnje) peto leto prehodnega obdobja. Dne 24.9.2019 je Uprava RS za jedrsko varnost izdala odločbo št. 3570-2/2019/9, s katero je odobrila spremembo Varnostnega poročila odlagališča rudarske jalovine Jazbec v skladu z dokumentom »Dopolnitev varnostnega poročila – odlagališče rudarske jalovine Jazbec rev. A-4, Poglavlje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju (št. 05-01-002, junij 2019)«. V skladu z odločbo in odobrenim Varnostnim poročilom za odlagališče rudarske jalovine Jazbec se je program nadzora radioaktivnosti spremenil in obseg zmanjšal.

V letih 2020-2024 je bil izveden program dolgoročnega nadzora v skladu z Varnostnim poročilom za odlagališče Jazbec (Varnostno poročilo za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in dopolnitvijo varnostnega poročila, št. UZJV---OP/01A, rev. A, september 2012. V poročilu obravnavamo le vpliv odlagališča Boršt, saj je za odlagališče Jazbec pristojna Agencija za radioaktivne odpadke, ki se je odločila, da pripravlja ločeno poročilo o vplivu na okolje za odlagališče Jazbec.

Uprava RS za jedrsko varnost je izdala dovoljenje za zaprtje odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt št. 3610-1/2024/63 z dne 24.3.2025. S tem dovoljenjem je bil potrjen program monitoringa iz Varnostnega poročila za odlagališče Boršt, revizija D, številka projekta UZVJ-B103/059, februar 2025. Program monitoringa je po zaprtju odlagališča manj obsežen in namenjen predvsem spremljanju stanja in ne oceni vplivov na okolje.

RŽV, d.o.o. je odlagališče Boršt upravljal do predaje v upravljanje Agenciji za radioaktivne odpadke v maju 2025 [42]. V poročilu za leto 2025 so navedeni rezultati meritev, ki jih je do 30. 5. 2025 izvedel in zagotovil RŽV, d.o.o. S soglasjem ARAO so za potrebe izdelave poročila in ocene izpostavljenosti uporabljeni tudi podatki monitoringa v obdobju od 31. 5. do 31. 12. 2025. Ocena prejetih doz sevanja iz odlagališča Boršt je narejena za celo leto 2025.

Na območju odlagališča Boršt je RŽV, d.o.o. v letu 2025 izvajal redna vzdrževalna dela, nadzor stanja in monitoring. Dodatnih del ni bilo.

Leto 2025 je bilo po količini in intenzivnosti padavin malo pod povprečjem, ni bilo izrazito sušnih mesecev ali mesecev z izjemno velikimi količinami padavin.

Izrednih dogodkov, ki bi lahko vplivali na odlagališče Boršt, kot so npr. intenzivnejši potres, usad, plaz, v letu 2025 ni bilo ne na odlagališču, niti v njegovi neposredni okolici.

Hitrost premikanja plazu ostaja manj kot 3 cm/leto. Dodatnih vidnih posledic delovanja plazu na odlagališče in vodne erozije površin ni bilo.

Glede programa monitoringa za odlagališče Boršt je bilo dogovorjeno z Upravo RS za jedrsko varnost, da se izvaja enak program kot v **5. letu** prehodnega obdobja (e-pošta URSJV z dne 02.04.2019). Program se je izvajal do zaprtja odlagališča Boršt in predaje ARAO. Po tem datumu se je izvajal program monitoringa v skladu z Varnostnim poročilom za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, revizija D, poglavje 14., Prilogi 14.5 in 14.7.

Meritve ekshalacije radona na odlagališču Boršt je v letu 2025 izvedel upravljalec objekta. Na odlagališču Boršt je bila izvedena letna.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2025 do zaprtja odlagališča, tako kot v 2020-2024, zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Todraščice PO. V programu za leto 2025 do zaprtja odlagališča so bile tudi meritve enkratno odvzetih vzorcev vode v Brebovščici in Todraščici. V preteklih letih se je izkazalo, da je prispevek k obsevanosti prebivalstva po vodni poti, v primeru uporabe vode iz potokov za pitje, zelo majhen, saj je radioaktivnost v površinskih vodah od 2-10 % mejne vrednosti za pitno vodo (Ur. l. RS št. 18, 2018, [8]).

Meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih v 2025 so bile izvedene v Todraščici PO in v sedimentih Zahodnega Boršt potoka (nadzor odlagališča Boršt). V programu so bile meritve le v prvi polovici leta, saj meritev sedimentov po zaprtju odlagališča ni več v programu.

Meritve vzorcev sena/trave so bile izvedene na lokaciji na Borštu in v Gorenji Dobravi in sicer v programu Ministrstva za kmetijstvo. Po zaprtju odlagališča meritev ni več v programu. Vzorca mleka v dolini Todraščice, zaradi opuščene govedoreje, ni bilo mogoče zagotoviti, meritev po zaprtju odlagališča tudi ni več v programu.

Nadzor zunanjega sevanja s pasivnimi dozimetri na odlagališču Boršt je potekal na dveh lokacijah. V poročilu obravnavamo le meritve v prvi polovici leta. Tudi meritev hitrosti doze na odlagališču in v njegovi okolici ne obravnavamo, ker so bile običajno izvedene v drugi polovici leta.

Program meritev v letu 2025 so izvajali Institut "Jožef Stefan", Eurofins raziskave okolja Slovenija in ZVD Zavod za varstvo pri delu. ZVD je kot pooblaščen izvedenec varstva pred sevanji ocenil vplive odlagališča Boršt na okolje ter izračunal dozno obremenjenost prebivalstva zaradi izvajanja preteklih dejavnosti pridobivanja in izkoriščanja uranove rude po končni ureditvi obeh odlagališč in ostalih rudniških objektov ter kontaminiranih površin.

V letu 2025 smo za določanje posameznih prenosnih poti uporabili iste mikrolokacije ter enake analize oziroma merilne metode kot v preteklih letih, seveda z upoštevanjem zmanjšane obsega programa. Pri metodologiji ocene doze smo upoštevali najnovejša

priporočila stroke in veljavno zakonodajo. Ker v poročilu ocenjujemo le vpliv odlagališča Boršt in razpolagamo le z meritvami iz tega nadzora, je seveda ocena manj zanesljiva. Podatki iz meritev nadzora za odlagališči Boršt in Jazbec, so namreč omogočali določanje skupnega vpliva in oceno doze nekdanjega rudnika urana. Ob zmanjšanju števila meritev po izvedenih zapiralnih delih, kar je sicer povsem normalno skrčenje programa, je ocenjevanje vpliva postajalo vedno težje. Pri oceni vpliva od leta 2020 dalje le za odlagališče Boršt pa moramo poudariti, da gre predvsem za pregled stanja in ne več za zanesljive ocene.

Od leta 2007 dalje ocenjujemo dozo za tri starostne skupine: odraslega prebivalca, mladostnika (10 let) in otroka (1-2 leti). Tako so tudi v poročilu za leto 2025 izračunane efektivne doze predstavnikov referenčne skupine, ki živi v vplivnem območju RŽV, v skladu s Pravilnikom o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (Uradni list RS, št. 47/18 in 30/21) [9]. Doze smo izračunali le za tiste prenosne poti, za katere smo imeli merske podatke. Za prenosne poti, ki se ne spremljajo, ocene doze nismo naredili.

I. METODE MERJENJA

Metode vzorčevanja in določevanja radionuklidov se v letu 2025 ne razlikujejo od metod v preteklih letih. V nadaljevanju naštevamo le metode, ki so se uporabljale pri izvajanju nadzora v letu 2025.

I.1 Zrak

- I.1.1 Koncentracijo radona določamo z metodo z detektorji sledi. Koncentracijo določamo preko daljših časovnih obdobj; po programu nadzora merimo trimesečne povprečne koncentracije, lahko tudi polletne. Pri meritvah smo uporabili metodo laboratorija ZVD, ki je akreditiran za odčitavanje detektorjev sledi po standardu SIST EN ISO/IEC 17025. Metoda omogoča merjenje koncentracij Rn-222 do nekaj Bq/m³.

I.2 Vode

- 5 Vodo iz potoka Todraščica smo vzorčili le ob delovnih dnevih in sicer po 0,5 L vode. Na merilnih mestih SDIJ, SDB, ZDV, ZDZ, Tunel in BPG je bilo ob delavnikih dnevno odvzeto po 0,15 L vode. Vzorce smo takoj po odvzemu prefiltrirali skozi filter (Milipore - 0,45 µm), nakisali s koncentrirano dušikovo (V) kislino ter shranili za kasnejšo laboratorijsko analizo.
- I.2.1 Raztopljeni U-238 smo v vzorcih površinskih vod in podzemne vode določali z masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS, Eurofins raziskave okolja Slovenija, SIST EN ISO 17294-2:2017) in z radiokemično nevtronsko aktivacijsko analizo (Institut »Jožef Stefan«). Metoda določitve z RNAA temelji na hitri in selektivni osamitvi urana s tri-n-butilfosfatom (TBP) iz kislega medija po končani nevtronski aktivaciji in merjenju vrha gama U-239 na HP Ge detektorju z izvrtino [13]. Radiokemijski izkoristek smo določili s sledilcem U-235. Spodnja meja občutljivosti metode je nekaj µg/m³. Detektor smo umerili s standardnimi viri (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.2 Raztopljeni Ra-226 v vodi smo določali z metodo radiokemijske separacije Ra-226 in meritve na spektrometru alfa [15]. Vzorcju vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytics, ZDA). Zatem smo dodali H₂SO₄ in sooborili Ba ter Ra v obliki PbSO₄. Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki Ba(Ra)SO₄ z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline, Na₂SO₄ in BaSO₄. Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45 µm filter. Tako pripravljen vir za meritve smo zalepili na aluminijasto ploščico. Radiokemijski izkoristek smo določili z meritvami Ba-133 na spektrometru gama, aktivnost Ra-226 pa smo izmerili na spektrometru alfa. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m³. Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytics,

ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

- I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Po-209 (Analytics, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO₂. Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa določili aktivnost Po-210. Pb-210 smo določili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [16]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Analytics, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2 Bq/m³ in za Po-210 0,03 Bq/m³. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.4 Th-230 smo določali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytics, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomočjo Fe(OH)₃, separirali z uporabo ekstrakcijskih smol (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF₃ in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m³. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.3 Sedimenti

Povprečne vzorce sedimentov v glavnih vodotokih zbiramo s posebnimi pastmi za suspendirane delce (sedimentatorji). Vsebnosti naravnih radionuklidov smo določali v polletnih zbirnih vzorcih. V manjših vodotokih vzorčujemo z enkratnim odvzemom. Rezultate podajamo v Bq/kg suhe mase sedimenta. Germanijev detektor je bil umerjen enako kot pod točko I.2.1. Izvajalec meritev IJS ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025.

- I.3.1 U-238 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.2 Ra-226 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.3 Th-230 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.4 Pb -210 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

Meje detekcije za določanje zgornjih izotopov z metodo VL spektrometrije gama so za U-238 2 Bq/kg, za Ra-226 1 Bq/kg, za Pb-210 4 Bq/kg in za Th-230 15 Bq/kg.

I.4 Zunanje sevanje gama

- I.4.1 Merjenje zunanjega sevanja gama opravljamo s termoluminiscentnimi dozimetri ali s prenosnim scintilacijskim merilnikom sevanja AUTOMES 6150 AD6, sonda 6150 AD-b s kristalom s plastičnim scintilatorjem. Termoluminiscentne detektorje in

prenosni merilnik redno umerjamo v sekundarnih dozimetričnih laboratorijih. Izvajalec meritev ZVD ima metodi meritev akreditirani po standardu SIST ISO 17025.

Meritve izvajamo na višini 1 meter od tal, nad neobdelanim zemljiščem, dovolj daleč od zidanih objektov in cestnih nasutij. Jakost absorbirane doze lahko določimo tudi z integracijskim odčitavanjem, kar precej zniža statistično negotovost. Veličina meritev je okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$.

II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI

Program nadzora radioaktivnost se deli na program nadzora radioaktivnosti okolja (imisije) in program nadzora na odlagališču Boršt (emisije)

II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2025

Program monitoringa radioaktivnosti okolja Rudnika Žirovski vrh je iz dokumenta »Dopolnitev varnostnega poročila za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, št. elaborata UZJV---OP/01A, številka projekta UJZV-B103/048 , september 2012«, izdelovalec IBE d.d. in sicer je opredeljen v Prilogi 14-7 na strani 14P-14/64. Upravljalcu odlagališča Boršt Rudniku Žirovski vrh d.o.o. pa je Uprava za jedrsko varnost z elektronsko pošto z dne 02.04.2019 naložila izvajanje programa monitoringa za **peto leto prehodnega obdobja**.

V tabeli (Tabela II-1) podajamo program nadzora radioaktivnosti, ki je bil zahtevan za leto 2025 do zaprtja odlagališča.

Tabela II-1: Program nadzora radioaktivnosti okolja na odlagališču Boršt za leto 2025 do zaprtja odlagališča.

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
1. ZRAK					
1.2. Radon (Rn-222) (kontinuirna meritev) metoda z detektorji sledi, 1-3 detektorji/merilno mesto	Bačenski mlin Debelo Brdo	zrak	kontinuirno vzorčevanje	kvartalno	4

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2.1. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
3.-5. leto kvartalno	Todraščica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todraščica pred Todraščica po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1
					1
					1
					1
2.2. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
3.-5. leto kvartalno	Todraščica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todraščica pred Todraščica po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1
					1
					1
					1

Opomba: povprečni pretok pomeni pretok v normalnih vremenskih razmerah, ki trajajo nekaj časa.

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2. VODE – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA					
2.3. Pb-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
3.-5. leto kvartalno	Todraščica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todraščica pred Todraščica po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1 1 1
2.4. Po-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza		Voda	Dnevno, kontinuirno		4
enkratni odvzem	Todraščica po	Voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)		1 1 1
2.5. Th-230 raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
enkratni odvzem	Todraščica po	Voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1 1 1

Opomba: povprečni pretok pomeni pretok v normalnih vremenskih razmerah, ki trajajo nekaj časa.

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
3. SEDIMENTI – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA					
3.1. U – specifična VL gama spektrometrija	Todraščica po Zahodni Boršt potok	sediment	kontinuirno polletno vzorčenje polletni, enkratno vzorčenje	polletno 5. leto	2
3.2. Ra-226, VL gama spektrometrija	Isto kot v točki. 3.1.	sediment	isto kot v točki. 3.1.	isto kot v točki. 3.1.	2 1
3.3. Pb-210, VL gama spektrometrija	Isto kot v točki. 3.1.	sediment	isto kot v točki. 3.1.	isto kot v točki. 3.1.	2 1
4. VODNA BIOTA – RIBE					
4.1. Ra-226 VL gama spektrometrija	Ni v programu odlagališča Boršt	ribe	1 krat letno	1 krat letno, Jeseni 5. leto	1 1 1
4.2. Pb-210 VL gama spektrometrija	Ni v programu odlagališča Boršt	ribe	1 krat letno	1 krat letno, jeseni 5. leto	1 1 1
5. HRANA – PRIDELKI, KRMA					
5.1. Ra-226, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Potokar	mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko 3. in 5. leto	3 6

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto		Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
5.2. Pb-210, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Potokar		mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko 3. in 5. leto	3 6
6. ZUNANJE SEVANJE GAMA						
6.1. Zunanje okolje TLD	S brežina odlagališča Boršt, zgoraj		zunanje sevanje	kontinuirno	kvartalno, 1. do 5. leto	4
6.2. Neposredna okolica odlagališč, posamezne merilne točke prospekcija, merilni instrument	Odlagališče Boršt – okolica		zunanje sevanje	letno	letno 1. in 5. leto	50

V tabeli (Tabela II-2) podajamo program nadzora radioaktivnosti, ki je bil zahtevan za leto 2025 po zaprtju odlagališča. Program je opredeljen v Varnostnem poročilu za odlagališče Boršt, revizija D, poglavje 14, Priloga 14.7. IBE, št. elaborata UZVP---OP0014D, številka projekta UJZV-B103/059 , februar 2025«,

Tabela II-2: Program nadzora radioaktivnosti okolja na odlagališču Boršt za leto 2025 po zaprtju odlagališča.

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
1. ZRAK					
²²² Rn (kontinuirna meritev) metoda z detektorji sledi, 1 detektor/mer. mesto	MP Bačenski mlin Referenčna lokacija Ljubljana*	zrak	kontinuirno vzorčenje	polletno IV-IX, X-III	2
				(ali IV-IX, X-III)	2
1. VODE - TODRAŠČICA					
²³⁸ U raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Todraščica pred	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	letno	1
	MM Todraščica po			letno	1
²²⁶ Ra raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Todraščica pred	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	letno	1
	MM Todraščica po			letno	1
²¹⁰ Pb raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Todraščica po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	letno	1

Opomba: Meritev na referenčni lokaciji Ljubljana (lokacija izvajalca meritev radona) je skupna za monitoring radioaktivnosti v dolinah Todraščice in Brebovščice, lahko se privzame meritev iz državnega programa.
V primeru povečanja specifičnih aktivnosti ²¹⁰Pb in/ali ²¹⁰Po na merilnem mestu BPG upravljavalec na osnovi analize stanja pri*

naslednjem rednem vzorčenju v vzorcu z merilnega mesta Todraščica po zagotovi analizo ^{210}Pb in/ali ^{210}Po oziroma izvede dodatno istočasno vzorčenje (enkratni trenutni vzorec) na merilnih mestih BPG in Todraščica PO za analizo ^{238}U ter ^{210}Pb in/ali ^{210}Po , ob značilnem pretoku. Povprečni pretok pomeni pretok v normalnih vremenski razmerah, ki trajajo nekaj časa, pretok se oceni. Vzorčenje vode za analize ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po na merilnem mestu Todraščica po se izvede skupaj z vzorčenjem kemijskih parametrov in skupaj z merilnimi mesti BPG, Todraščica pred, Jazbec (izcedne vode odlagališča), JV-P-10 (jamska voda), Gorenja Dobrava (Brebovščica). Program monitoringa radioaktivnosti v okolju odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt, upravljanje po zaprtju, je sestavni del programa monitoringa radioaktivnosti v okolju nekdanjega RUŽV, upravljanje po zaprtju (rudniška jama, odlagališče rudarske jalovine Jazbec in odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt).

II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT

Program monitoringa tekočih in plinastih izpustov iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt do zaprtja odlagališča je določen v »Varnostnem poročilu za Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt«, Junij 2006, št. Dokumentacije UZVP-0P/01, izdelovalec IBE d.d., priloga 14.6.

Tabela II-3: Program nadzora radioaktivnosti tekočih in plinastih izpustov iz odlagališč Boršt za leto 2025 do zaprtja odlagališča

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
ZRAK					
^{222}Rn , detektor sledi	Kozolec Potokar*	zrak	kontinuirno, (po potrebi 2 detekt. istočasno)	četrtletno	
	MP BORŠT*			3. – 5. leto	4
	BORŠT etaža			3. – 5. leto	4
	BORŠT zgoraj**			1. – 5. leto	4
				3. – 5. leto	4

²²² Rn, kontinuirno vzorčenje, merilnik radona	MP BORŠT BORŠT etaža BORŠT zgoraj** Izvedel RŽV, izvedeno poleti 2025.	zrak	občasno, 3-4 dni, istočasno z meritvijo PAEC	polletno, 1. - 5. leto	2 2 2
²²² Rn kratkoživi potomci, kontinuirno vzorčenje, spektrometrija alfa	MP BORŠT*** Ni izvedeno	zrak	kontinuirno črpanje zraka	vsako uro 1. - 5. leto	vsako uro
²²² Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa	drenažni tunel	zrak	občasno	pred vstopom v drenažni tunel, 1. – 5. leto	po potrebi
IZHAJANJE RADONA IZ TAL					
²²² Rn, radonski tok iz tal, 48 urna izpostavljenost, metoda z ogljenimi adsorberji ali merilnikom radona	odlagališče Boršt 4 kontr. točke na brežinah 3 kontr. točke na zgornjem ravnem delu odlagališča Izvedel RŽV, izvedeno poleti 2025	zrak	občasno, sušno obdobje, zmerno mokro obdobje	polletno poleti in jeseni, brez padavin 1. – 5. leto	8 6

Opomba: (*) 1. in 2. leto vključeno v Program radioaktivnosti okolja RUŽV po zaključku končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt, prehodno (petletno) obdobje

(**) Merilno mesto na zgornji etaži (Boršt zgoraj) se je opustilo zaradi vandalizma.

(***) Kontinuirne meritve niso bile izvedene, saj merilno mesto MP Boršt ni več opremljeno z električno energijo (postaja odstranjena, za dolgoročni monitoring je ostalo merilno mesto za TLD in detektorje sledi).

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
VODE					

²³⁸ U, ²²⁶ Ra (raztopljena), NH ₄ ⁺ , Ca, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , spektrometrija (uran), standardne metode (kem. parametri)	BPG SDIJ SDB ZDZ ZDV TUNEL	voda	dnevno, mesečni sestavljeni vzorec	mesečno 1. – 5. leto	12 12 12 12 12 12
²³⁸ U, (raztopljen), temperatura vode, pH, elektroprevod. raztopljene snovi, usedljive snovi, ²³⁸ U (razt), KPK _b , NH ₄ ⁺ , Ca, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ spektrometrija (uran) standardne metode (kem. parametri)	BPG (točka mešanja) SDIJ, CDZ J-3/2 SDB ZDZ ZDV 13 TUNEL	voda	občasno, enkrat mesečno	mesečno 1. – 5. leto	12 12 4 12 12 12 12
Ca, Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ , standardne metode (kem. parametri)	Todraž PO	voda	dnevno, mesečni sestavljeni vzorec	mesečno, 1. – 5. leto	12
²³⁸ U (raztopljen) temperatura vode, pH, elektroprevodnost, raztopljene snovi, ²³⁸ U (razt), NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ spektrometrija (uran) standardne metode (kem. parametri)	Todraščica Pred Todraž PO	voda	občasno, polletno	polletno 3. – 5. leto	2 2
²³⁸ U, ²²⁶ Ra, ²¹⁰ Pb, ²¹⁰ Po (raztopljeni), specifična radiokemijska analiza	SDIJ ali BPG	voda	občasno, enkrat letno	letno 1. – 5. leto povprečni pretok	1

Opomba: (**) Merilno mesto CD se je uporabljalo samo 1 leto, kasneje uporaba merilnega mesta SDB
Ob vzorčenju voda se izmeri oz. oceni ter zabeleži pretok na vsakem merilnem mestu

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
ZUNANJE SEVANJE					

Zunanje (gama) sevanje, TLD dozimeter	BORŠT etaža	-	občasno	četrtno 1. – 5. leto	4
--	-------------	---	---------	-------------------------	---

V tabeli (Tabela II-4) podajamo program nadzora radioaktivnosti, ki je bil zahtevan za leto 2025 po zaprtju odlagališča. Program je oporeddeljen v Varnostnem poročilu za odlagališče Boršt, revizija D, poglavje 14, Priloga 14.5. IBE, št. elaborata UZVP---OP0014D, številka projekta UJZV-B103/059 , februar 2025«,

Tabela II-4:Program nadzora radioaktivnosti tekočih in plinastih izpustov iz odlagališčih Boršt za leto 2025 do zaprtja odlagališča

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
ZRAK					
²²² Rn (koncentracija), detektor sledi 2 detektorja/merilno mesto	Boršt etaža MP Boršt*	zrak	kontinuirno (po potrebi 2 detektorja istočasno)	polletno I-VI, VII- XII, (ali IV-IX, X-III), četrtno v primeru potrebe	2 2

²²² Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa	Drenažni rov, do 3 merilna mesta (ko se zrak spušča po rovu navzdol)	zrak	občasno, pred nadzorom stanja v drenažnem rovu, meritvami	Pred in med vstopom v drenažni rov ali križišče rogov	po potrebi
Koncentracija ²²² Rn, merilni instrument za kontinuirno merjenje, merilni cikel 60 minut	drenažni rov, 100 m od vstopa	zrak	občasno, zunanja temperatura zraka v času merjenja 15°C ali več	v poletnem času, trajanje 2-3 dni	1 x
IZHAJANJE RADONA IZ TAL					
²²² Rn, radonski tok iz tal, merilni instrument za ²²² Rn, zaprti krogotok ali druga ustrezna merilna metoda	Odlagališče Boršt 4 kontr. točke na brežini, 3 kontr. točke na platoju odlagal. 1 kontr. točka ob stebru V-GPS	zrak	občasno, zmerne vremenske razmere, brez padavin	letno, (julij ali avgust)	4 3 1

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
VODE					
pretok, T vzorca, elektroprevodnost, pH, Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , ²³⁸ U, ²²⁶ Ra	SDB SDIJ ZDZ Tunel BPG	voda	četrtno, trenutni vzorec	četrtno	4
					4
					4
					4
					4
²¹⁰ Pb, ²¹⁰ Po, ²³⁰ Th	BPG		letno, trenutni razširjeni vzorec	dodatno letno v mesečnem vzorcu	1
Merjenje nivoja preлива	SDB SDIJ ZDZ Tunel BPG	voda	kontinuirna meritev, prenos podatkov, nadzor delovanja preлива	2 meseca	6
				najmanj na 4 mesece	3

Pretok (ocena), T vzorca, elektroprevodnost, pH, NH_4^+ , SO_4^{2-} , trenutni, enkratni vzorec, standardna metoda analize	Todraščica pred	voda	letno, trenutni vzorec	letno	1 x
	Todraščica po		letno, trenutni vzorec	letno	1 x
Sedimenti, spektrometrija gama, ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{230}Th	Zahodni Boršt potok, dolvodno od MM BPG	trdni, usedlina	trenutni vzorec	1 x letno	1 x
ZUNANJE SEVANJE					
Zunanje (gama) sevanje, trenutne vrednosti, prenosni merilnik hitrosti doze zunanjega sevanja	Površina odlagališča, 1-2 točki zunaj varnostne ograje, merilna mreža 25 m x 25 m ali meritev v liniji	Hitrost doze zunan. (gama) sevanja	letno,	letno,	30
			v primeru potrebe dodatno	v primeru potrebe dodatno	30
Zunanje (gama) sevanje, pasivni dozimeter, merilni instrument	Boršt etaža MP Boršt*	zunanje (gama) sevanje	kontinuirno	polletno I-VI, VII- XII (ali IV-IX, X-III)	2 2

Opomba: Vzorčenje potoka Todraščica se izvede v času vzorčenja potoka Brebovščica,

merilnih mest BPG, Jazbec in JV P-10 (poleg kemičnih tudi radiološki parametri (priloga 14.7)).

() Po odstranitvi vremenske postaje Boršt Gorenja vas (premestitev postaje na zgornjo etažo odlagališča leta 2020) in merilnega mesta MP Boršt je ostal samo steber GPS sistema z oznako III-GPS, ki ima mesto za detektorje sledi in TLD/pasivni dozimeter, oznaka merilnega mesta ostaja MP Boršt.*

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2025

Merski rezultati, ki so ovrednoteni v nadaljevanju poglavja, so podani v poglavju VIII.

III.1 ZRAK

III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210

Meritve koncentracije dolgoživih radionuklidov v zraku niso več v programu. RŽV, d.o.o. ne izvaja dejavnosti, ki bi povzročale prašenje in s tem onesnaževanje okolja s prašnimi delci, na katere so vezani naravni radionuklidi iz okolja rudnika.

III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju

Emisijska vira Rn-222 na vplivnem območju sta:

- Odlagališče rudarske jalovine Jazbec,
- Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt.

V času zapiranja rudnika je RŽV, d.o.o. izvedel več del z namenom zmanjšanja emisij radona. Vsa dela so opisana v poročilih o Nadzoru radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje [2].

Povprečna vrednost ekshalacije radona po posameznih letih iz odlagališča Boršt za obdobje 2012-2025 je v tabeli (Tabela III-1). Meritve je izvedel RŽV, d.o.o.

Na izhajanje radona iz tal imajo velik vpliv vremenske razmere. V primeru suhega in toplega vremena se zemlja izsuši, naredijo se razpoke, iz katerih izhaja radon oziroma ekshalacija radona je v takšnem vremenu večja.

Pri meritvah ekshalacije je pomembno tudi, kdaj se jih izvaja (zelo suho obdobje ali razmočen teren), koliko časa traja meritev (eno uro ali več dni) in ne nazadnje od lokacije meritev.

Tabela III-1: Povprečna ekshalacija radona na odlagališču Boršt v letih 2012-2025 (Bq/m²s), izračunana iz meritev, ki so bile izvedene v različnih obdobjih leta. Meritve je izvajal upravljalec odlagališča sam (RŽV, d.o.o.).

Leto	2025	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017
Odlagališče Boršt									
Zimsko obdobje	Za obdobje nimamo podatkov	0,033 ± 0,015 Datum meritev: november 2024	0,027 ± 0,003 Datum meritev: december 2023	0,028 ± 0,018 Datum meritev: december 2022	0,024 ± 0,008 Datum meritev: december 2021	0,034 ± 0,007 Datum meritev: december 2020	0,044 ± 0,018 Datum meritev: 22.-31.1.2020	0,037 ± 0,026	0,024
Letno obdobje	0,062 ± 0,014 Datum meritev: julij 2025	0,049 ± 0,013 Datum meritev: julij 2024	0,047 ± 0,010 Datum meritev: julij 2023	0,027 ± 0,012 Datum meritev: julij 2022	0,045 ± 0,009 Datum meritev: julij 2021	0,061 ± 0,012 Datum meritev: avgust 2020	0,050 ± 0,020 Datum meritev: 16.7.-26.7.2019	0,062 ± 0,012	0,051

Leto	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Odlagališče Boršt						
Zimsko obdobje	0,024	Ni izvedeno	0,042	0,031	0,030	Ni izvedeno (razmnoženost terena)
Letno obdobje	0,051	0,059	0,054	0,024	0,080	0,037

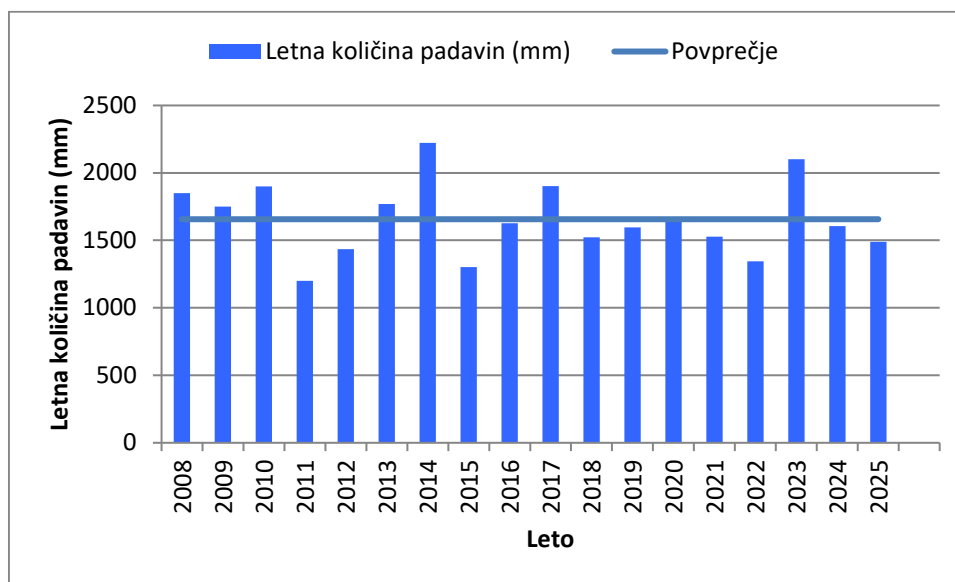
Pomembna dela, ki so vplivala na ekshalacijo radona na odlagališču Boršt so:

Odlagališče Boršt

- ✓ Vgradnja končne prekrivke v letu 2008, pokritih 50 % celotne površine odlagališča Boršt.
- ✓ V letu 2009 je s prekrivko pokrito celotno odlagališče Boršt.
- ✓ Z vgrajevanjem prekrivne plasti se je ekshalacija radona na odlagališču Boršt zmanjšala na povprečno vrednost 0,04 ± 0,01 Bq/m²s (povprečje vrednosti za obdobje 2012-2025)

Izhajanje radona iz površine odlagališča se je z vgradnjo prekrivke stabiliziralo in ustalilo. Na izhajanje radona iz tal vplivajo tudi razpoke v humusni plasti, ki jih je več v sušnih letih. Pomembna je tudi razporeditev padavin, saj lahko enkratno močno deževje kot npr. v oktobru 2014 ali avgustu 2023 močno dvigne letno količino padavin, a so bila lahko v letu vseeno daljša časovna obdobja brez padavin in s pojavom razpok v zemlji. Na sliki (Slika 1) je prikazana letna količina padavin na lokaciji vremenske postaje na Borštu. Ob primerjavi tabele (Tabela III-1) in slike (Slika 1) bi težko zaključili, da so v zelo sušnih letih (npr. 2011 ali 2015) bistveno več izhajanja radona v zraku. Verjetno na nižje koncentracije radona v zraku v zadnjih letih vpliva predvsem kakovostno izvedena prekrivka na odlagališču Boršt.

Po končanih zapiralnih delih v letih 2008 in 2009 je ekshalacija radona iz odlagališč komaj kaj višja od ozadja v Gorenji vasi [3]. Vsekakor pa je viden trend padanja koncentracij radona po dolini Brebovščice. Praviloma so torej koncentracije radona zmanjšujejo dolvodno po dolini.



Slika 1: Letne količine padavin (mm) na vremenski postaji Boršt.

Zapiralna dela na odlagališčih v preteklosti so vplivala na zmanjšanje emisij radona. Z zmanjševanjem prispevka radona je dolgoletna metodologija za izračun prispevka RŽV k povečanju koncentracij radona v okolju postala neprimerna. Sprva smo menili, da prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona v okolju ne moremo zanesljivo oceniti zaradi ne dovolj natančne merilne metode z detektorji sledi. Izvajalec meritev je zato v 2011 zamenjal dobavitelja detektorjev sledi. Namesto nemškega laboratorija KfK iz Karlsruhea po letu 2011 je detektorje sledi do leta 2019 dobavljalo podjetje Landauer Nordic, ki je za meritve radona z detektorji sledi akreditirano po standardu SIST EN ISO 17025. Po letu 2019 pa meritve z detektorji sledi izvaja ZVD s svojo metodo, ki je prav tako akreditirana po standardu SIST EN ISO 17025. Izkazalo se je, da so akreditirane meritve bolj zanesljive, kar je vidno iz nadzora v preteklih letih [4], a vendar menjava izvajalca meritev ni zadovoljivo pojasnila nihanja koncentracije radona na lokacijah meritev.

Manjši prispevek radona iz virov RŽV pomeni, da prispevka ni več mogoče oceniti oziroma smo že prešli mejo dodatnega prispevka, ki smo jo še lahko določevali z metodologijo iz preteklosti. Za izračun prispevka rudnika smo do vključno 2009 upoštevali razliko koncentracij radona na Gorenji Dobravi in Gorenji vasi, kjer vpliva praviloma ni bilo zaznati. Pri tem smo uporabili rezultate koncentracij Rn-222, izmerjene z detektorji sledi (Tabela V.1.1).

Že v 2009 se je izkazalo, da po ureditvi rudniških virov radona, ki še prispevajo dodatni

radon v dolino potoka Brebovščica, obstoječa metodologija ne zadošča več za oceno prispevka rudniškega radona k morebitnim povečanim koncentracijam radona v okolju. Zato je RŽV v 2010 naročil izdelavo študije »Metodologija za oceno Rn-222 prispevka RUŽV« [1]. Študija ugotavlja, da metodologija iz preteklosti ni več ustrezna za ugotavljanje prispevka radona iz rudniških virov, obenem pa na osnovi analiz vseh razpoložljivih rezultatov meritev še vedno ugotavlja, da prispevek radona obstaja. Iz razmerja koncentracije radona na odlagališču Jazbec iz obdobja po zaprtju rudnika, ko se še niso začela izvajati zapiralna oziroma ureditvena dela (1991-1995) in povprečnega prispevka rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi v tem obdobju (1991 – 1995) lahko sklepamo na prispevek rudniškega radona v Gorenji Dobravi v tekočem letu. Študija predlaga izračun prispevka rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi po naslednji formuli:

$$\Delta C_{Rn,Y} = \Delta C_{Rn, 1991-1995} * \frac{\Delta \bar{C}_{Rn,Jazbec,Y}}{\Delta \bar{C}_{Rn,Jazbec,1991-1995}},$$

pri čemer je

$\Delta C_{Rn,Y}$	Prispevek RŽV k povečanju koncentracije radona v Gorenji Dobravi za leto Y
$\Delta C_{Rn, 1991-1995}$	Povprečen prispevek RŽV k povečanju koncentracije radona v Gorenji Dobravi v obdobju 1991 – 1995. Vrednost je 7,3 Bq/m ³ .
$\Delta \bar{C}_{Rn,Jazbec,Y}$	Povprečna letna koncentracija radona na odlagališču Jazbec (merilna postaja Jazbec ali Transportni trak) za leto Y
$\Delta \bar{C}_{Rn,Jazbec,1991-1995}$	Povprečna letna koncentracija radona na odlagališču Jazbec (merilna postaja Jazbec) iz obdobja 1991-1995. Vrednost je 94 Bq/m ³ .

Po letu 2020 ocenjujemo prispevek odlagališča Boršt k povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice iz osnutka Varnostnega poročila za odlagališče HMJ Boršt [39] in predloga avtoriziranih mejnih vrednosti [40].

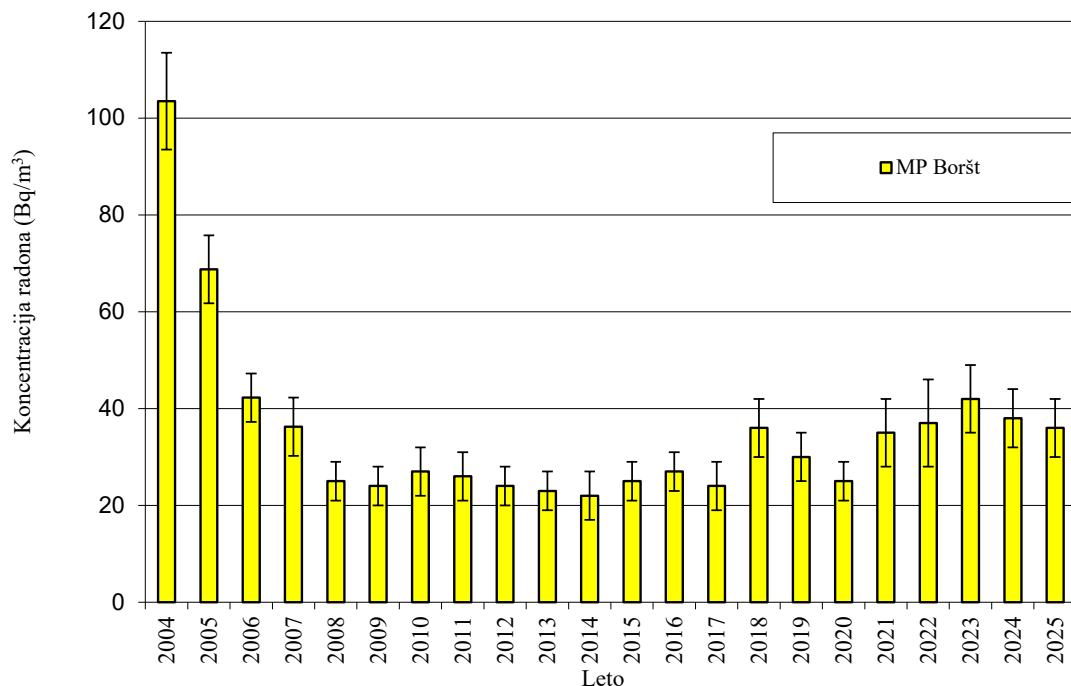
III.1.2.1. Ocena prispevka Rn-222 iz odlagališča Boršt po zračni prenosni poti v dno doline Todraščice in Brebovščice

V času rednega obratovanja odlagališča Boršt so bile neposredno na hidrometalurški jalovini izmerjene vrednosti radonskega toka večje od 5 Bq/m².s, maksimalno do 10 Bq/m².s, na

severni in zahodni brežini odlagališča, prekriti z inertnim materialom z lokacije, pa do 2 Bq/m².s. Zgornja etaža odlagališča je bila pet let po prenehanju obratovanja (leta 1995) prekrita z 0,3 m debelo plastjo inertnega materiala, pridobljenega z izdelavo drenažnega rova pod odlagališčem, radonski tok na tej prekrivki je bil 1-2 Bq/m².s, odvisno od sestave materiala na merilnem mestu. V času, ko zgornji plato odlagališča še ni bil prekrit, severna in zahodna brežina pa le z začasno prekrivko debeline do 0,5 m, je bil prispevek Rn-222 iz odlagališča h koncentracijam v dolini Todraščice na osnovi meritev radona in njegovih kratkoživih potomcev ocenjen na okrog 7-8 Bq/m³. Po končni ureditvi odlagališča leta 2010 se je radonski tok iz površine prekrivke zmanjšal na raven vrednosti naravnega ozadja zunaj odlagališča in znaša v povprečju <0,05 Bq/m².s. S tem se je od leta 2010 zmanjšal tudi ocenjeni prispevek radona v dno doline Todraščice in je od takrat dalje ocenjena na povprečno letno vrednost <1 Bq/m³, skupaj s prispevkom iz drenažnega rova. V [33] je emisija radona iz odlagališča Boršt ocenjena na 4,2 TBq/leto ter iz odlagališča Jazbec na 2,2 TBq/leto. Z meritvami ocenjen prispevek h koncentracijam radona na dolini Brebovščice in Todraščice je bil zelo podoben (že omenjenih 7-8 Bq/m³), četudi je mehanizem transporta radona zaradi različne lege odlagališč različen, razlikovali pa sta se tudi vrednosti emisije radona. Prispevek je v splošnem največji v primeru, ko je bilo celotno odlagališče pod mejo temperaturne inverzije. Vpliv radona iz odlagališča Boršt na dolino Todraščice in naprej v dolino Brebovščice je bil v času rednega obratovanja RUŽV zaradi orientiranosti doline Todraščice in njene zaprtosti ter majhnosti prečnega preseka doline v primerjavi s prečnim presekom doline Brebovščice ocenjen na največ 10 % (ocena ARSO).

Poleg radona iz odlagališča Boršt je vir radona tudi drenažni rov pod odlagališčem Boršt, ki se mora naravno zračiti zaradi izvajanja monitoringa in nadzora stanja rova. Drenažni rov ni del odlagališča Boršt, izdelan je bil za potrebe zmanjšanja hitrosti gibanja plaz. Ocenjeni prispevek radona iz drenažnega rova je približno še enkrat manjši, kot je prispevek iz površine odlagališča. Skupni prispevek iz odlagališča Boršt k povečanju koncentracije radona v dolini Todraščice je ocenjen na 0,5 Bq/m³ [41], **v dolini Brebovščice pa h koncentracijam v Gorenji Dobravi na manj od 0,1 Bq/m³**. Dolina Todraščice je v primerjavi z dolino Brebovščice zelo ozka, leži v smeri V-Z, pravokotno na dolino Brebovščice.

Na odlagališču Boršt (Boršt, merilna postaja) so izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2025 za več kot dvakrat nižje kot pred končno ureditvijo posameznega odlagališča v 2008 (Slika 2). V 2025 so v povprečju upoštevane vrednosti za 1. in 2. četrletje ter za 2. polletje. Po zaprtju odlagališča meritve niso več četrletne ampak polletne.



Slika 2: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališču Boršt

Iz tabele (Tabela III-2) in slike (Slika 3) lahko ugotovimo iz meritev do 2019, da so se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirili in so na nižji ravni kot pred letom 2006. Po obsežnih zapiralnih delih v 2007 in 2008 je prispevek rudniškega radona padel. Z merilnimi metodami prispevka ni več možno oceniti in ga od leta 2010 določamo na osnovi modela [1], od leta 2019 pa sploh ne več, saj pišemo poročilo le za vpliv odlagališča Boršt, ki pa v dolini Brebovščice prispeva le okoli 10 % k celotnemu povečanju koncentracije radona.

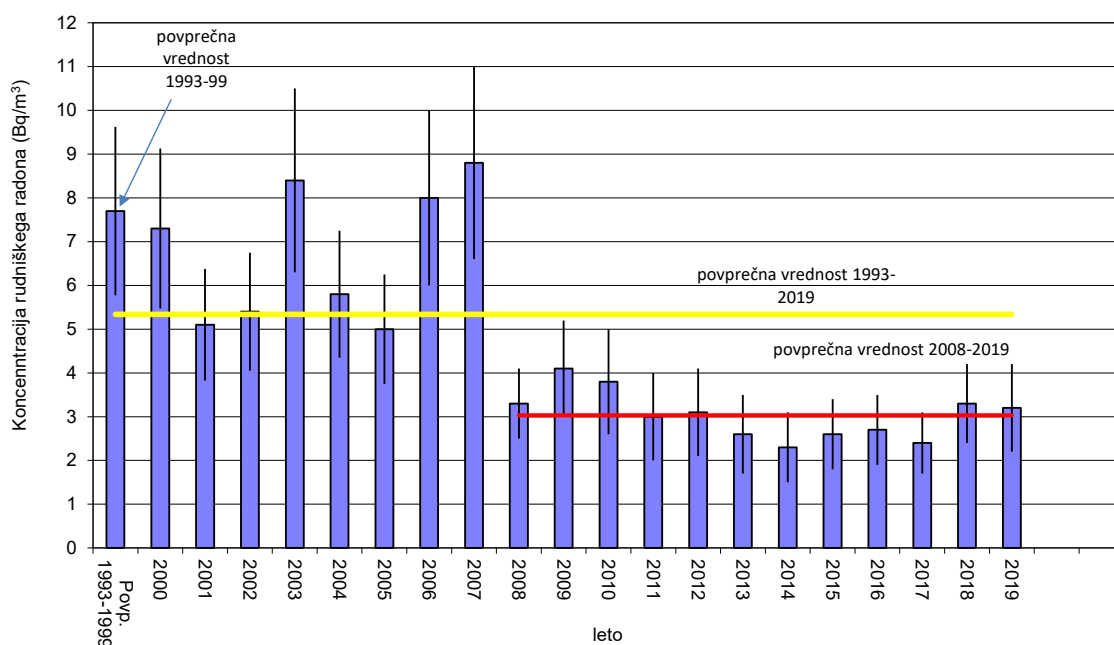
Tabela III-2: Prispevek rudnika h koncentraciji Rn-222 v Gorenji Dobravi po posameznih letih (Bq/m³)

Leto	Povprečje 1993-2000	Povprečje 2001-2007	Povprečje 2008-2019
Prispevek RŽV	7,6	6,6 ± 3,4	3,0 ± 1,0

Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Prispevek RŽV	$3,3 \pm 0,8$	$4,1 \pm 1,1$	$3,8 \pm 1,2$	$3,0 \pm 1,0$	$3,1 \pm 1,0$	$2,6 \pm 0,9$	$2,3 \pm 0,8$	$2,6 \pm 0,8$	$2,7 \pm 0,8$

Leto	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Prispevek RŽV	$2,4 \pm 0,7$	$3,3 \pm 0,9$	$3,2 \pm 1,0$	Ne ocenjujemo	Ne ocenjujemo	Ne ocenjujemo	Ne ocenjujemo	Ne ocenjujemo

Leto	2025
Prispevek RŽV	Ne ocenjujemo



Slika 3: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV h koncentraciji radona v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1993-2019 je $5,3 \text{ Bq/m}^3$ oziroma v obdobju 1993 do 2007, ko je že bila izvedena večina zapiralnih del, $7,2 \text{ Bq/m}^3$. Izrazit je padec prispevka h koncentraciji radona v okolici RŽV po izvedenih delih na odlagališčih Jazbec in Boršt. Povprečna vrednost

povečanja koncentracije radona v obdobju 2008-2019 je $3,0 \text{ Bq/m}^3$ in je skoraj dvakrat nižja kot v obdobju pred 2008.

S prenehanjem obratovanja rudnika in izvedenimi zapiralnimi deli se je zmanjševal tudi obseg nadzora koncentracij radona v okolju RŽV. Spremembe so bile naslednje:

- ✓ Po letu 2005 se je prenehalo z izvajanjem mesečnih meritev dvodnevni koncentracij Rn-222 po dolini Brebovščice med Gorenjo vasjo in Brebovnico ter na odlagališčih Jazbec in Boršt. Namesto mesečnih meritev se je dvakrat letno, v zimskem in letnem času, izmerilo višinski profil po dolinah Brebovščice in Todraščice.
- ✓ V letu 2012 so bile meritve zaradi pomanjkanja finančnih sredstev izvedene le v letnem času, meritve v zimskem času pa so bile zaradi navedenih težav narejene na začetku leta 2013.
- ✓ Od vključno leta 2014 meritev dvodnevni koncentracij (meritve se izvajajo istočasno na več lokacijah) ni več v programu.
- ✓ Od vključno leta 2014 se namesto kvartalnih meritev z detektorji sledi po dolini Brebovščice izvajajo le še polletne meritve.
- ✓ Od vključno leta 2016 se meritve v dolini Brebovščice izvajajo le še na treh lokacijah v dolini (prej na sedmih).

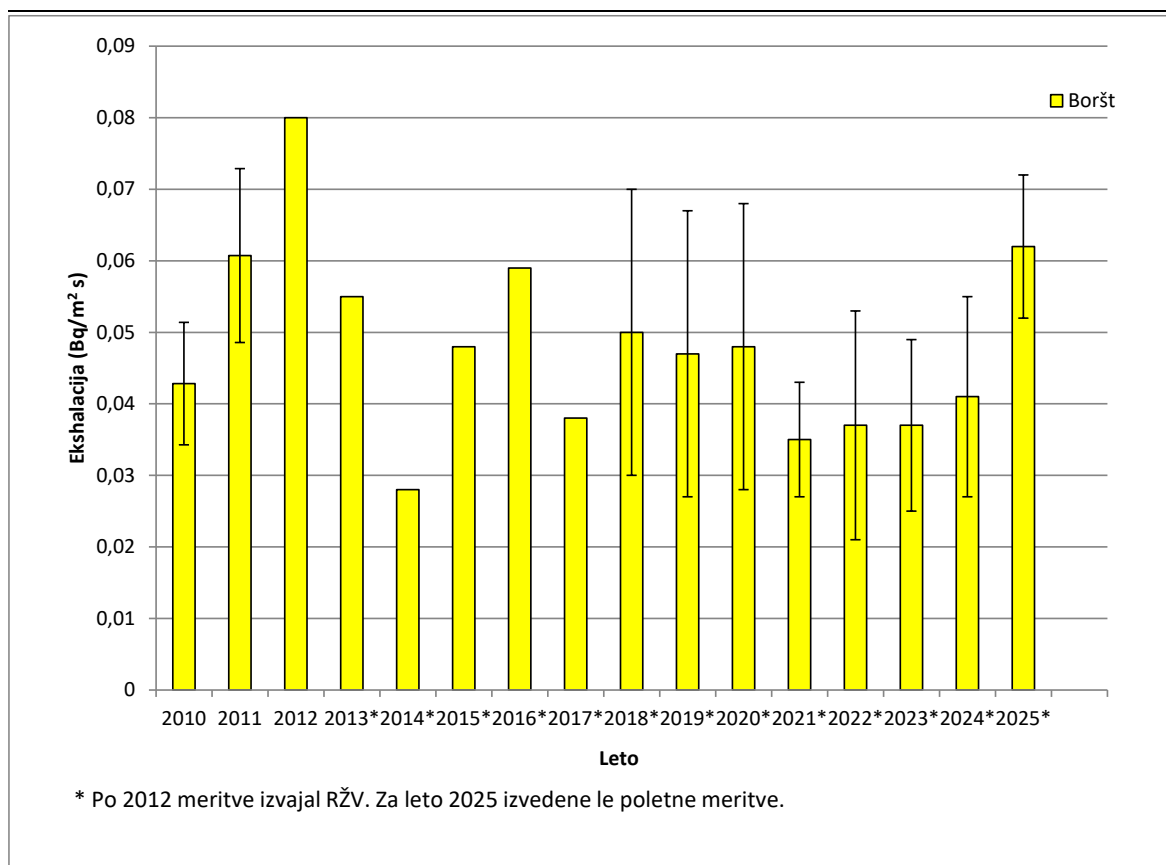
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

Od leta 2012 v programu nadzora radioaktivnosti ni meritev koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo oglenih adsorberjev, to je v okolici odlagališč Boršt in Jazbec.

Povprečna letna ekshalacija radona iz odlagališča Boršt je prikazana na sliki (Slika 4). Ker se meritve ekshalacije izvajajo občasno, so rezultati močno odvisni od vremenskih razmer v času meritve. Suha, razpokana zemlja vpliva na večjo ekshalacijo, medtem ko mokra in zbita zemlja prepušča manj radona. Po letu 2012 RŽV, d.o.o. sam izvaja meritve in po drugačni metodi kot v letih poprej pooblaščen organizacija za izvajanje meritev radona, vendar je v letih 2011-2012 RŽV, d.o.o. svojo metodo preverjal z določenim številom meritev, ki sta jih hkrati izvedla RŽV, d.o.o. in pooblaščen organizacija. V letu 2025 so bile izvedene le letne meritve, ko je ekshalacija večja kot pozimi.

Ekshalacija radona se je na prekritih površinah zmanjšala iz vrednosti pred izvedbo prekrivke **nekaj $\text{Bq/m}^2\text{s}$** (odlagališče Boršt) na vrednosti nekaj **$10^{-2} \text{ Bq/m}^2\text{s}$** po izvedbi prekrivke.

Poudariti je potrebno, da so izmerjene vrednosti ekshalacije radona nekajkrat, več kot 10 x, manjše od avtorizirane vrednosti za ekshalacijo radona iz površine odlagališča in sicer je ta vrednost $0,7 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ za odlagališče Boršt.



Slika 4: Ekshalacija radona iz odlagališča Boršt po izvedenih zapiralnih delih. Prikazano je povprečje letnih in zimskih meritev. V letu 2025 so bil izvedene le letne meritve.

Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališču Boršt so vplivala na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališču. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije radona na odlagališču je prikazan na sliki (Slika 2). Na odlagališču Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona pred sanacijskimi deli običajno višje kot na Borštu, podobno pa je tudi po končanju zapiralnih del.

Izmerjene koncentracije radona na odlagališču Boršt se gibljejo od 20 – 40 Bq/m³, kar je nekaj več kot npr. na referenčni lokaciji v Ljubljani ali v Gorenji vasi.

III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODZEMNA VODA

III.2.1 Vodotoki

V programu nadzora so meritve koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele V.2.1-V.2.4). Zaradi zapiranja rudnika in okoljske sanacije odlagališč se je nadzor v preteklih letih zmanjšal. Bistvene spremembe so:

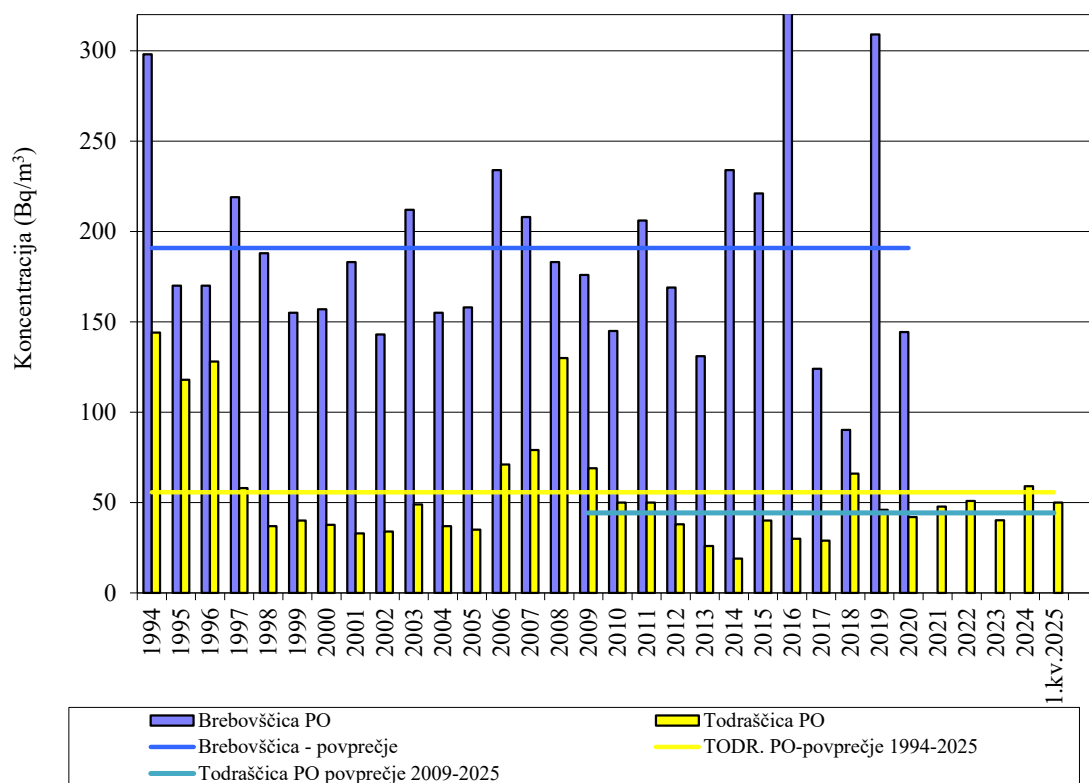
- ✓ Do leta 2011 je bilo vzorčenje na izbranih lokacijah v Brebovščici in Todraščici kontinuirano, merilo pa se je sestavljeni mesečni vzorec.
- ✓ V letu 2012 in 2013 se je v Brebovščici in Todraščici merilo kvartalne sestavljene vzorce.
- ✓ Od 2014 ni več v programu meritev kvartalnih sestavljenih vzorcev v Brebovščici.
- ✓ V 2025 imamo le meritve za prvi kvartal.

Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti iz kvartalnih ali mesečnih vzorcev) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 5, Slika 6, Slika 7). Na sliki (Slika 1) je primerjava količine padavin po letih. Količina padavin vpliva tako na pretoke kot na koncentracijo radionuklidov. Pri večji količini padavin so koncentracije radionuklidov v vodotokih manjše.

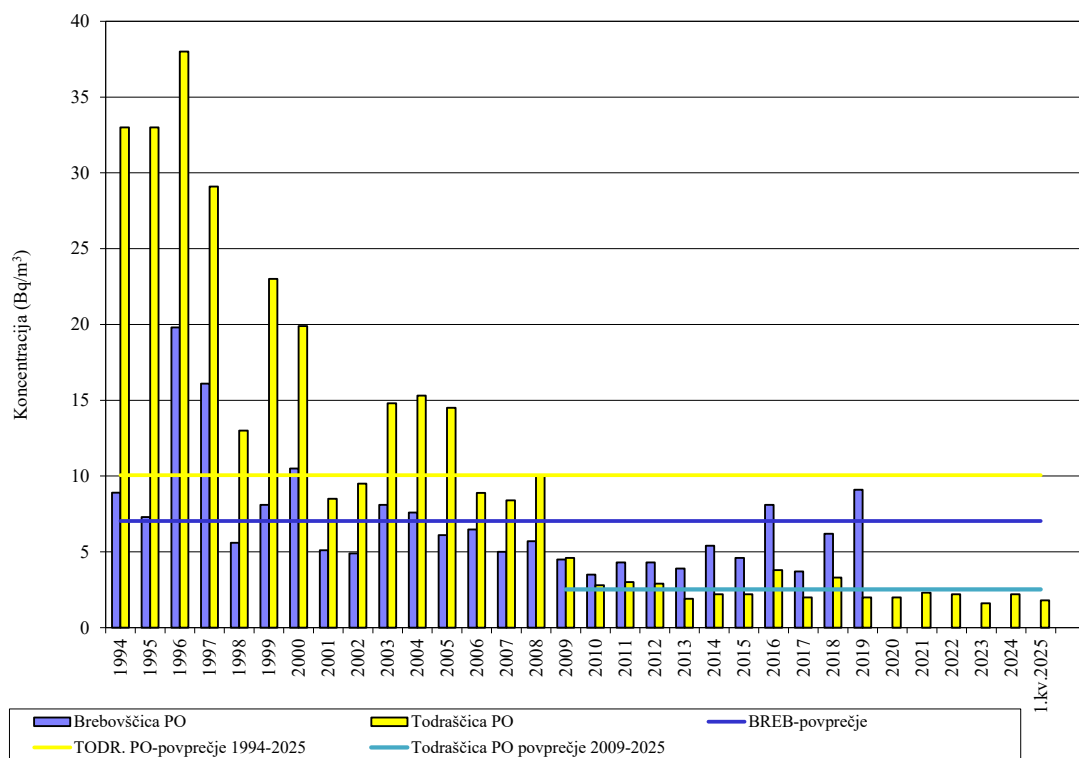
Povprečne koncentracije so določene kot aritmetično povprečje koncentracij izmerjenih po posameznih mesecih in ne kot uteženo povprečje z upoštevanjem pretokov. Izmerjene koncentracije med obratovanjem rudnika v obdobju 1985 - 1990 so zbrane v tabeli (Tabela III-3).

Tabela III-3: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v Todraščici PO in Brebovščici PO med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

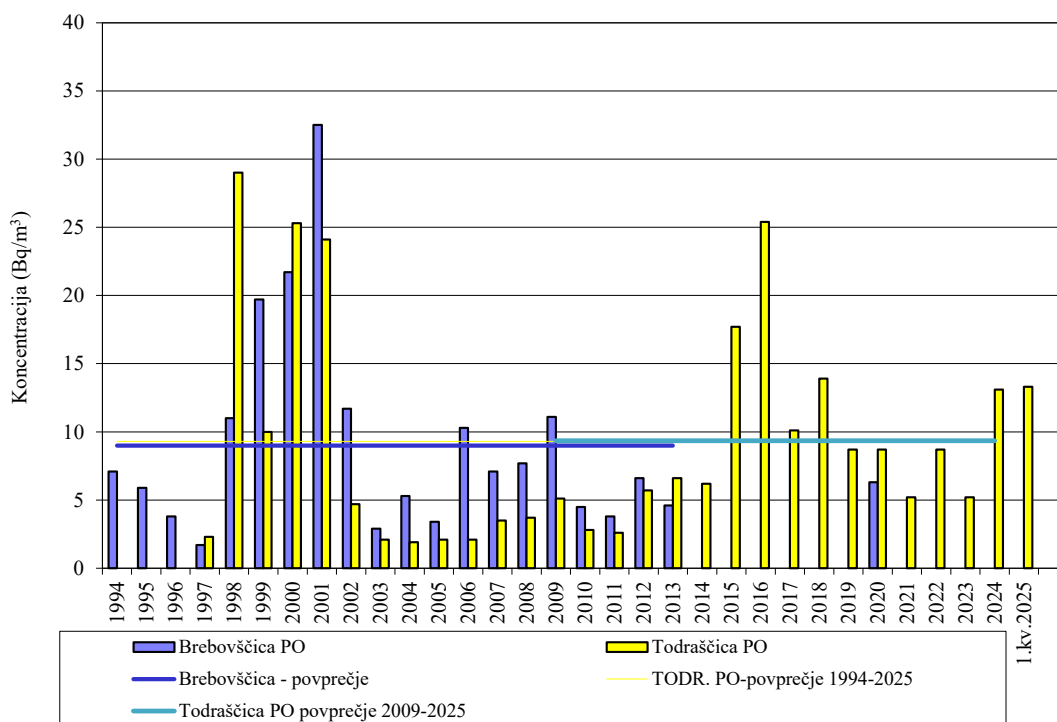
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 5: Povprečne letne koncentracije U-238 v Brebovščici PO in Todraščici PO. Za leto 2025 je bila izvedena meritev le v 1. kvartalu. Za vrednosti v Brebovščici PO od 2014 dalje navajamo izmerjene vrednosti v enkratnem vzorcu, ki naj bi bil odvzet v času značilnega pretoka, po letu 2020 pa meritev ni več.



Slika 6: Povprečne letne koncentracije Ra-226 v Brebovščici PO in Todraščici PO. Za leto 2025 je bila izvedena meritev le v 1. kvartalu. Za vrednosti v Brebovščici PO od 2014 dalje navajamo izmerjene vrednosti v enkratnem vzorcu, ki naj bi bil odvzet v času značilnega pretoka, po letu 2020 pa meritev ni več.



Slika 7: Povprečne letne koncentracije Pb-210 v Brebovščici PO in Todraščici PO. Za leto 2025 je bila izvedena meritev le v 1. kvartalu.

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo nekaj odstotkov mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 ($IK = 3000 \text{ Bq/m}^3$), za Pb-210 ($IK = 190 \text{ Bq/m}^3$) in za Ra-226 ($IK = 480 \text{ Bq/m}^3$) [8]. Dodatno kontaminacijo reke Sore zaradi prispevkov RŽV lahko ocenimo iz razmerja pretokov Sore in Brebovščice, ki je približno 9:1.

Po prenehanju obratovanja rudnika so površinski onesnaževalci voda: jamska voda, izcedne vode iz odlagališča rudarske jalovine Jazbec ter izcedne vode iz odlagališča hidrometalurške jalovine na Borštu. Glavni onesnaževalec površinske vode z Ra-226 je jamska voda. Prispevek odlagališča Boršt se je po izvedenih sanacijskih delih zmanjšal in je podoben kot prispevek odlagališča Jazbec (Tabela III-4). Izpusti Ra-226 iz posameznega odlagališča so približno desetkrat manjši kot iz jame (jamska voda). Pred zapiralnimi deli v jamskem obratu je bil prispevek jamskega obrata približno trikrat večji od prispevka odlagališč.

Koncentracija Ra-226 se v Todraščici poveča po dotoku izcednih vod iz odlagališča Boršt (zahodni Boršt potok). V 2025 je RŽV v skladu s programom monitoringa izvedel meritve U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 v enkratnih vzorcih v Todraščici PO po dotoku zalednih voda iz odlagališča Boršt, v Todraščici PRED pa meritve U-238 in Ra-226. Koncentracije U-238 se v Todraščici po dotoku voda iz Boršta povečajo za skoraj 10x, Ra-226 pa za 2x (Tabela V.2.4).

Iz poročil [2] sledi, da je glavni onesnaževalec z uranom jamska voda, sledijo izcedne vode odlagališča Jazbec in nato Boršt. Ugotovitev podajamo na osnovi meritev iz let do 2013, ko

so v programu nadzora radioaktivnosti še bile predvidene meritve imisij jamske vode in voda iz Jazbeca. Od leta 2014 ni več v programu nadzora kontinuiranih meritev tekočinskih emisij iz jame in odlagališča Jazbec. So pa v programu meritve enkratnih vzorcev vod. Iz meritev enkratnih vzorcev sicer ni mogoče oceniti celoletnih tekočinskih emisij, lahko pa se oceni prispevke odlagališča Jazbec in jamske vode k povečanju koncentracije radionuklidov v Brebovščici.

Tekočinske emisije so močno odvisne od količine padavin. V letih, ko je več padavin, je več izpiranja odložene hidrometalurške jalovine in posledično več emisij urana in radija.

Tekočinske emisije U_3O_8 iz odlagališča Boršt so bile v 2008 in 2009 večje kot je povprečje po letu 2000, po letu 2010 pa so nižje in na ravni 10 – 20 kg letno v letih 2023 in 2024 pa so tekočinske emisije porasle in presegle vrednost 30 kg U_3O_8 na leto. Povečanje v 2008-2009 pripisujemo intenzivnim zapiralnim delom na odlagališču (predvsem učinkom izvedbe dodatnih drenaž telesa odlagališča), zmanjšanje po letu 2010 pa uspešnosti teh del. Povečanje prispevka v letih 2023 in 2024 gre na račun povečanega prispevka izcednih voda odlagališča, predvsem zaradi izmerjenega večjega iztoka teh voda preko merilnega mesta SDB (informacija RŽV). Povečanje za emisijo Ra-226 je manjše. V 2025 so na voljo podatki za obdobje januar-april. Primerjava s celim letom tako ni v popolnosti mogoča. Če bi emisije za leto 2025 iz tabele (Tabela III-4) množili s faktorjem 3, bi prišli do približne ocene emisij. V tem primeru bi ugotovili, da so emisije primerljive z emisijami v preteklih letih.

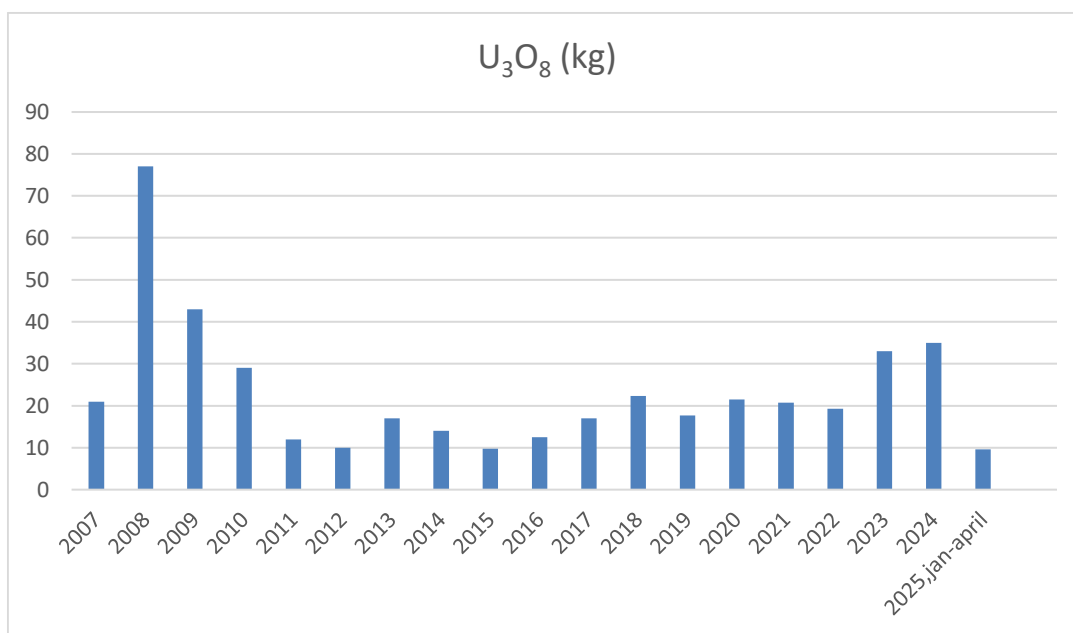
Tabela III-4: Letne tekočinske emisije U_3O_8 in Ra-226 iz odlagališča Boršt. Vir: letna poročila Službe za varstvo pred sevanji RŽV

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Letne tekočinske emisije U_3O_8 (kg)										
Boršt	21	77	43	29	12	10	17	14	9,8	12,5
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)										
Boršt	11,9	35	13	12,5	3	3,4	5,8	5,0	2,9	3,3

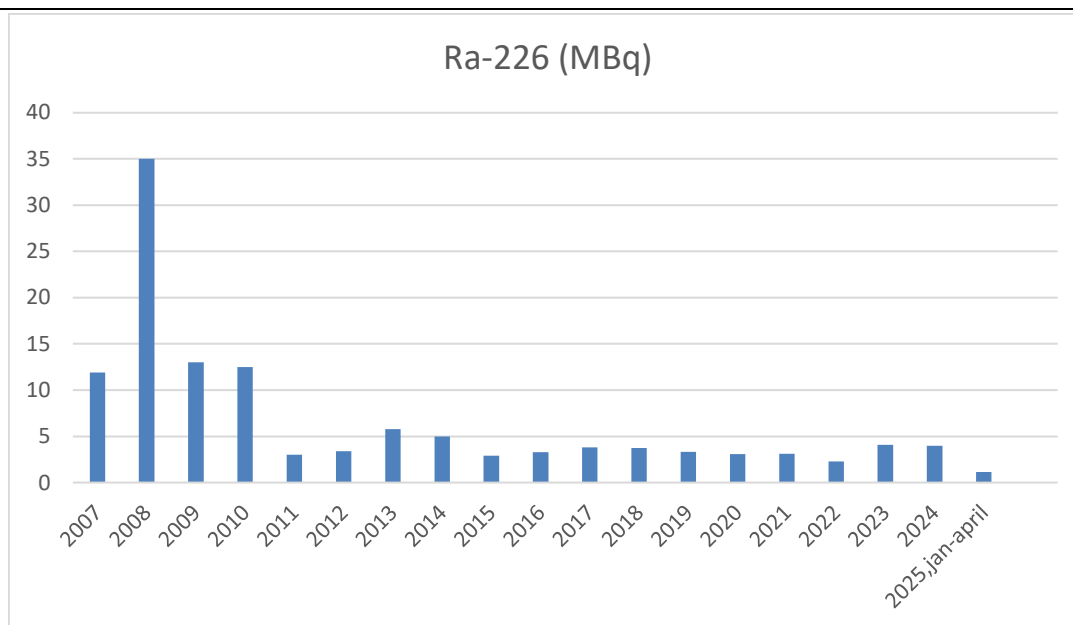
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025, jan- april
Letne tekočinske emisije U_3O_8 (kg)									
Boršt	17	22,3	17,7	21,5	20,7	19,3	33,0	35,0	9,6

Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)									
Boršt	3,8	3,74	3,32	3,10	3,11	2,3	4,1	4,0	1,15

Tekočinske emisije U_3O_8 iz odlagališča Boršt so na sliki (Slika 8). Večje emisije v 2023 so posledica zelo obilnih padavin. Leto 2024 je bilo po količini padavin povprečno. Zakaj je vrednost tekočinskih emisij U_3O_8 podobna kot v 2023 in večja kot npr. v obdobju 2010-2022, ne znamo pojasniti. Za 2025 lahko z linearnim skaliranjem ocenimo emisije U_3O_8 na podobno vrednost kot v 2023-2024, torej na okoli 30 kg. Tekočinske emisije Ra-226 so vse od 2010 nizke in pod 5 MBq na leto. (Slika 9).



Slika 8: Letne tekočinske emisije U_3O_8 iz odlagališča Boršt, MM BPG



Slika 9: Letne tekočinske emisije Ra-226 iz odlagališča Boršt, MM BPG

Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todraščici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču Boršt (Slika 5).

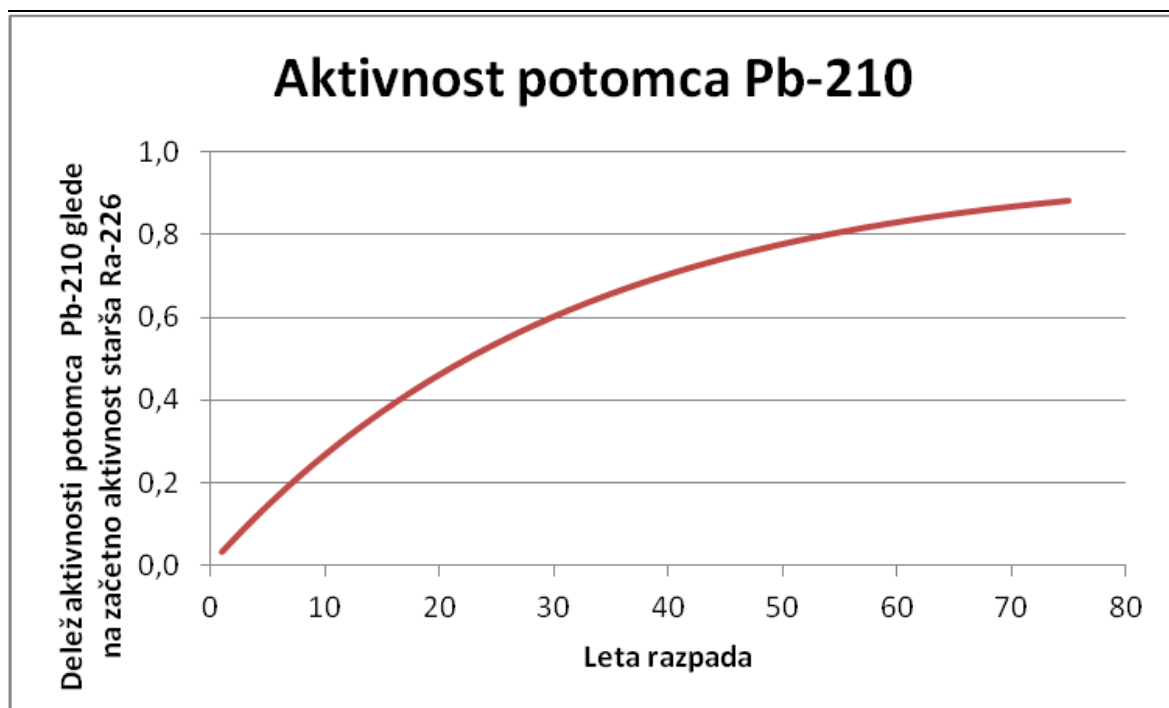
Na izmerjene koncentracije radionuklidov vplivajo tudi pretoki vodotokov (Slika 11). Majhna količina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, čeprav so lahko emisije nespremenjene. Tako so bile npr. letne mase emisije U_3O_8 iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt v obdobju 2004 – 2007 približno enake, a so izmerjene koncentracije U-238 v sušnem letu 2006 in 2007 večje kot leta 2005 in tudi večje kot leta 2008, čeprav so bile emisije leta 2008 večje. V letu 2011 in 2012 so npr. emisije urana manjše kot v 2010, izmerjene vrednosti v Brebovščici in Todraščici pa višje, saj sta povprečna letna pretoka Brebovščice in Todraščice v 2010 višja. V letih 2011 in 2012 so emisije urana najnižje v zadnjih letih, a sta bili leti precej sušni in izrazitega padca v povprečnih koncentracijah urana in radija v Todraščici in Brebovščici ni opaziti. V 2013 so emisije urana in radija višje kot v 2012 ali 2011 pa so povprečne koncentracije obeh elementov v Brebovščici in Todraščici nižje kot v 2012 ali 2011. Čeprav je celotna masa izpranega urana in radija v letu 2013 višja kot v 2012, so koncentracije v Brebovščici in Todraščici, prav zaradi redčenja z večjimi količinami vode, nižje. V letu 2014 je bila količina padavin in posledično pretoki Brebovščice in Todraščice najvišji v zadnjih letih. Tudi zato so bile povprečne koncentracije U-238 in Ra-226 leta 2014 najnižje v zadnjih letih. Leto 2015 je po količini padavin podobno letoma 2011 in 2012. Podobne so tudi koncentracije U-238 in Ra-226 v Todraščici.

V 2018 je bila povprečna letna koncentracija urana v Todraščici zelo velika. Visoko povprečje je posledica zelo visoke vrednosti izmerjene v zadnjem kvartalu ($138 \pm 10 \text{ Bq/m}^3$), vzroka za tako visoko vrednost U-238 v zadnjem kvartalu ne poznamo.

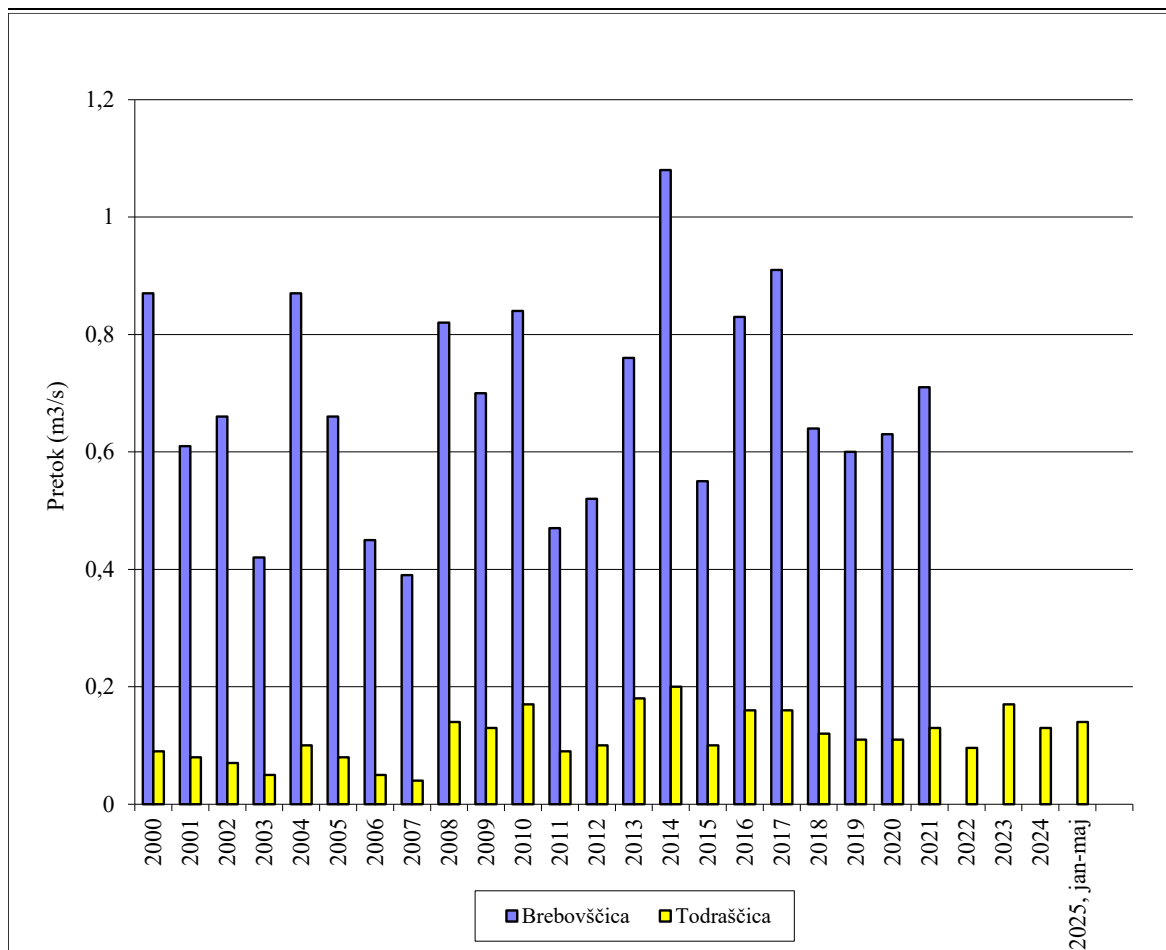
V zadnjih letih (od 2018 dalje) so koncentracije U-238 v Todraščici PO v okviru povprečja za obdobje 2009-2024, kar pomeni, da se v odlagališču glede raztapljanja urana iz hidrometalurške jalovine in njegovega izpiranja (izcedne vode) ne dogajajo kakšni nepričakovani procesi. V 2025 ocenjujemo, da je podobno.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici so se z leti zmanjšale in so po letu 2009 pod 5 Bq/m^3 . Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih Jazbec in Boršt so se izpusti Ra-226 zmanjšali in ustalili na letni ravni okoli 35-40 MBq. Po končanih zapiralnih delih na odlagališču Boršt, od leta 2009 dalje, so povprečne vrednosti Ra-226 v Todraščici padle za nekajkrat (Slika 6). Tudi za Ra-226 v 2025 ocenjujemo, da so koncentracije v Todraščici PO v okviru povprečja 2009-2024.

Koncentracije Pb-210 v Todraščici PO so po 2014 višje od koncentracij v obdobju po letu 2001, ko so bile večinoma pod 5 Bq/m^3 (Slika 7). Najvišje pa so v 2016, ko so posledica predvsem zelo visokih vrednosti izmerjenih v 1. kvartalu. Razlage za povečanje koncentracij Pb-210 v Todraščici za leto 2016 nimamo. Res je, da je Pb-210 radioaktivni izotop v uranovi razpadni verigi in da bodo njegove koncentracije z leti naraščale, a tako velikih skokov kot v 2015 in 2016 ne bi smelo biti. Vsekakor pa se v obeh odlagališčih zaradi radioaktivnega razpada povečuje zaloga Pb-210, ki bo postajal vedno bolj pomemben v tekočinskih emisijah. Samo kot informacijo naj navedemo, da se aktivnosti Pb-210 povečujejo in se v 5 letih povečajo na cca 15 % aktivnosti Ra-226, če predvidimo, da na začetku sploh ni bilo Pb-210 in da ves nastaja z razpadom iz Ra-226. V 10 letih aktivnost Pb-210 doseže okoli 25 % začetne aktivnosti Ra-226, v 20 letih pa okoli 45 % začetne aktivnosti Ra-226. Povečevanje aktivnosti Pb-210 glede na začetno aktivnost Ra-226 je na sliki (Slika 10). V 2019, 2020 in 2022 je bila izmerjena povprečna koncentracija Pb-210 v Todraščici $8,7 \pm 0,7 \text{ Bq/kg}$, v 2021 pa $5,2 \pm 0,7 \text{ Bq/kg}$. Če upoštevamo, da so bile pred 20-30 leti koncentracije Ra-226 v vodi nekaj nad 30 Bq/kg , potem je izmerjena koncentracija Pb-210 v letu 2024 v okviru pričakovanj. Enako ocenjujemo za 2025. Hidrometalurška jalovina je sestavljena iz trdnih delcev in netrdnega polnila med trdnimi delci, zato podzemna voda raztaplja predvsem Pb-210 v netrdnih delih.



Slika 10: Povečevanje aktivnosti Pb-210 zaradi radioaktivnega razpada Ra-226.



Slika 11: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici. Za 2025 je prikazan povprečni pretok za obdobje 1.1.-31.5.2025.

III.3 SEDIMENTI

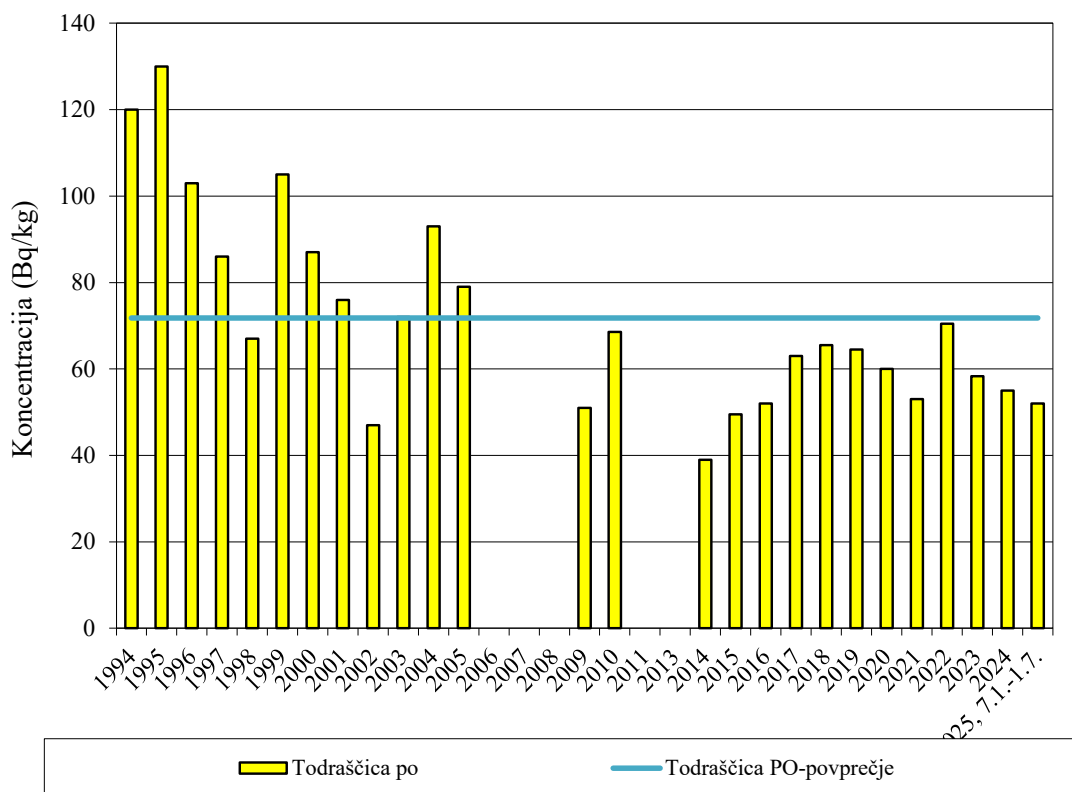
V tabeli (Tabela V.3.1) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v vzorcih sedimentov v Todraščici PO. Po programu za odlagališče Boršt so predvidene meritve polletnih zbirnih vzorcev v Todraščici PO in Zahodnem potoku Boršt. Izvedene so meritve dveh polletnih sedimentov v Todraščici PO, v Zahodnem potoku Boršt pa sta izvedeni dve meritvi enkratnega vzorca sedimentov.

Do leta 2005 se je na vseh lokacijah izvajalo meritve zbirnih kvartalnih vzorcev. Po letu 2005 se je izvajalo meritve polletnih zbirnih vzorcev vendar vseh lokacij v Brebovščici in Todraščici ni bilo v programu ali pa se meritve niso izvajale. V 2025 se je sedimente vzorčilo v obdobju 7.1.-1.7.2025. Po zaprtju odlagališča meritev sedimentov ni več v programu.

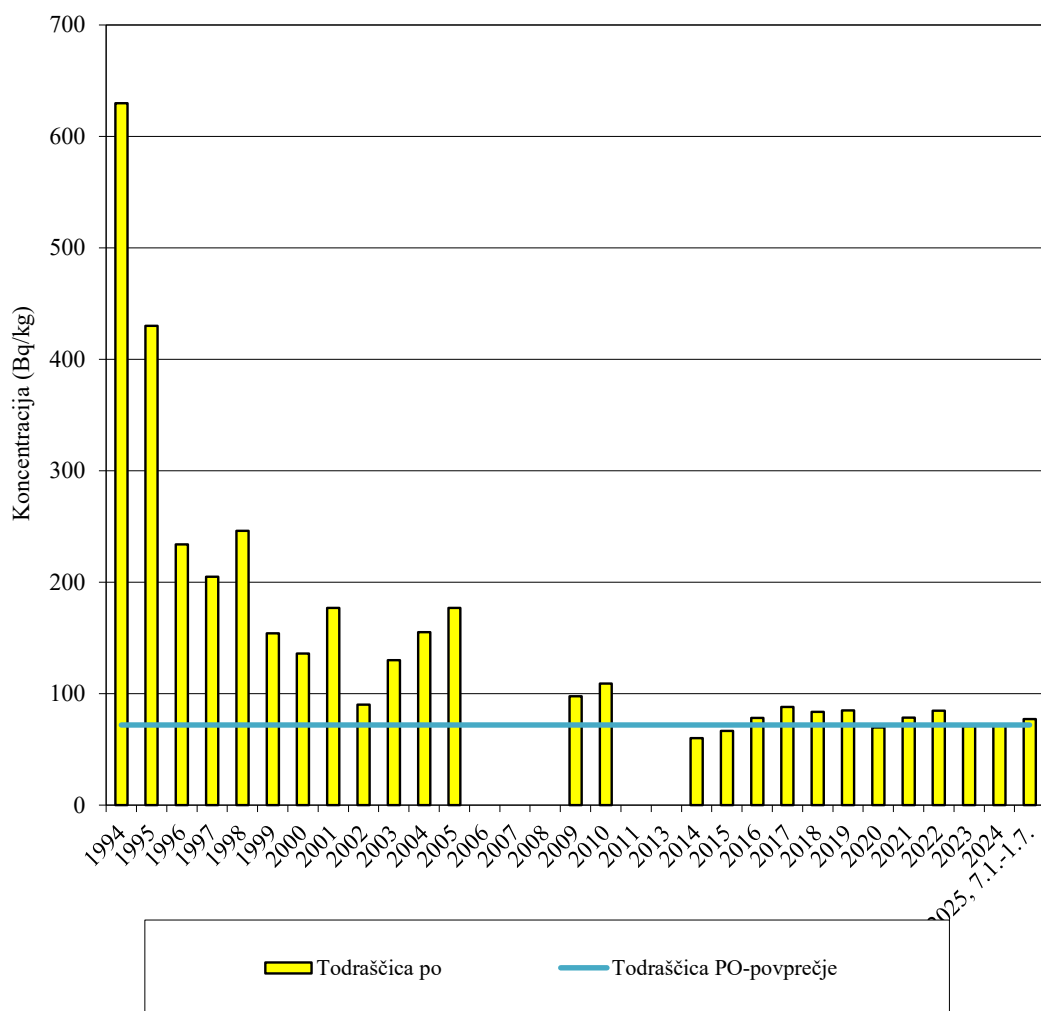
V tabeli (Tabela III-5) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 12, Slika 13 in Slika 14) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice PO.

Tabela III-5: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice po, Brebovščice po in Sore po med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

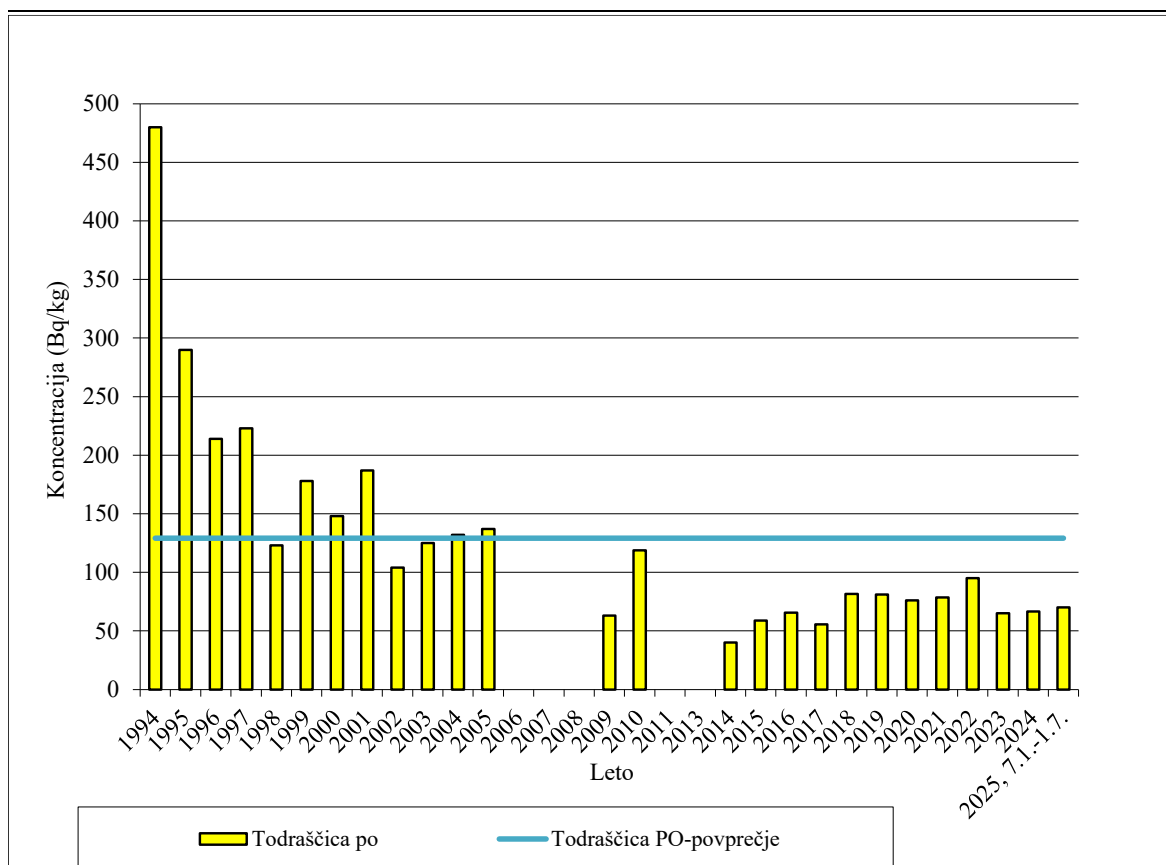
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



Slika 12: Koncentracija U-238 v sedimentih v Todraščici PO



Slika 13: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v Todrašči PO



Slika 14: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v Todrašči PO

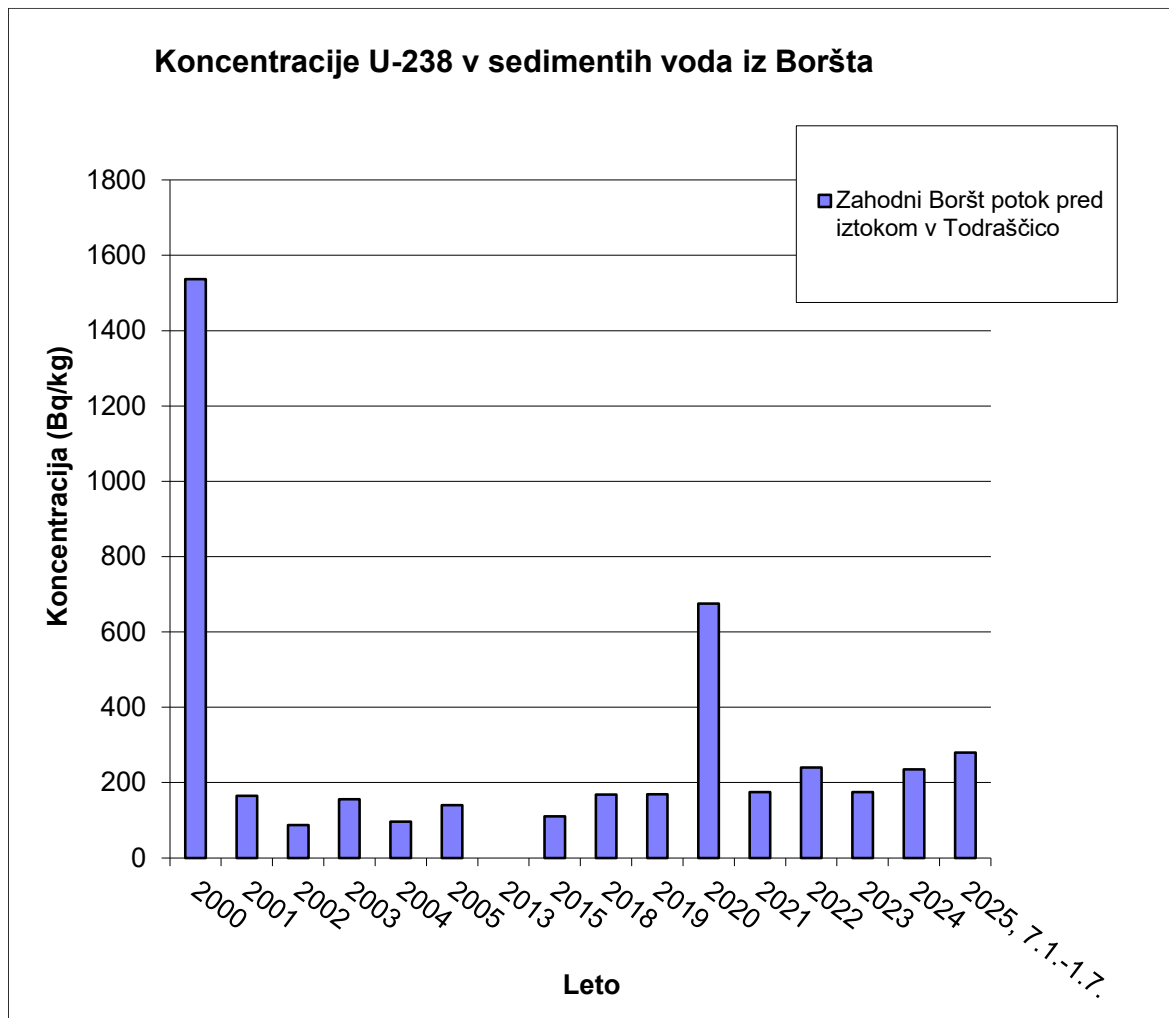
V sedimentih v Todrašči PO se koncentracije U-238 in Ra-226 v obdobju 2017-2024 približno konstantne in nekaj nižje kot v obdobju do 2009. Podoben trend opazimo pri Pb-210, čeprav so tu meritve obremenjene z veliko negotovostjo. Vse navedeno velja tudi za 1. polletje 2025.

Izmerjene koncentracije radionuklidov v sedimentih so odvisne od količine vode oziroma padavin, od sposobnosti odlagališč, da zadržujejo material ter nenazadnje od ustreznih merskih podatkov. Gotovo na ovrednotenje vpliva, če imamo podatke o zbirnih polletnih vzorcih ali namesto tega le podatke o enkratnem vzorcu.

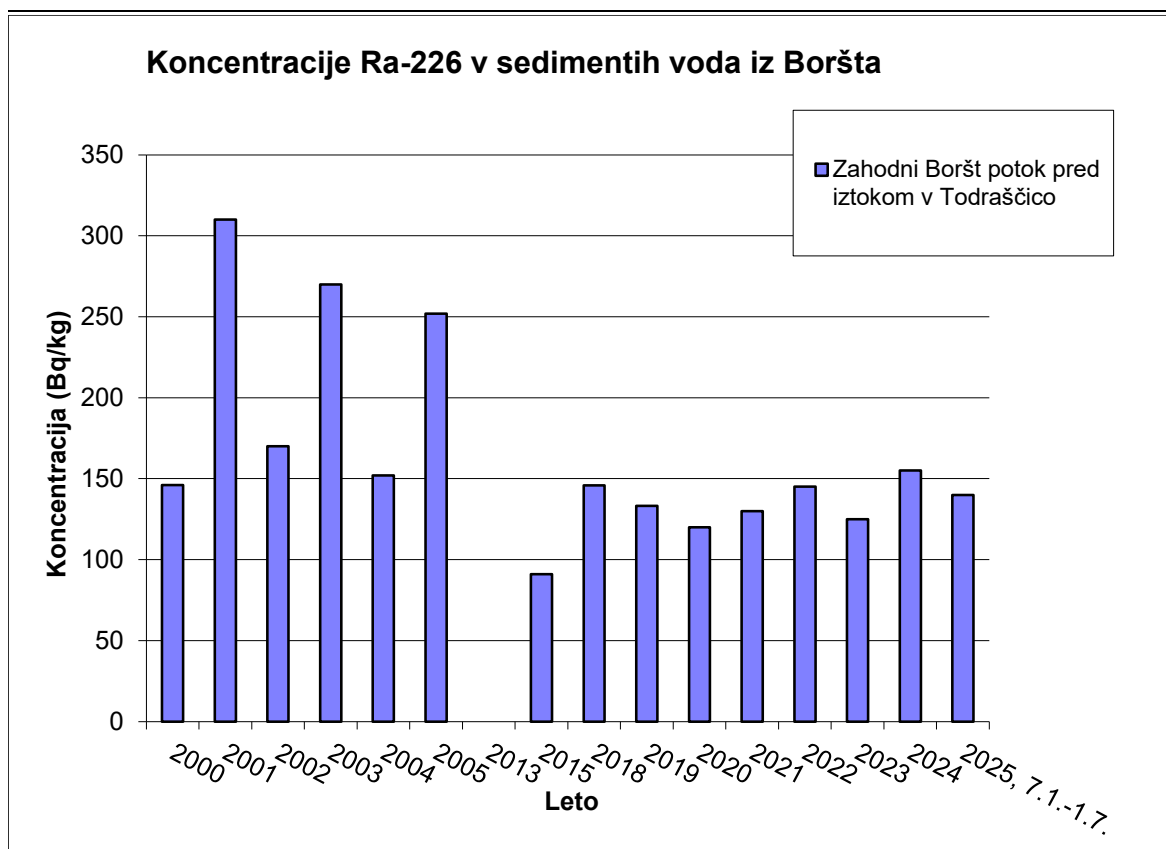
Vsekakor je potrebno spremljati koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodah, da se ugotavlja učinkovitost prekrivke oziroma zadrževanje radionuklidov v telesih odlagališč.

Značilen je trend upadanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice do leta 2009. Z zapiralnimi deli se je očitno uspešno preprečilo izpiranje snovi iz odlagališča. Po letu 2009 so koncentracije vseh treh radionuklidov ustaljene. Program nadzora radioaktivnosti sicer ne omogoča rednega spremljanja, ampak le občasna preverjanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih, s čimer se preverja vzdrževanje stanja, ki je bilo doseženo z zapiralnimi deli.

Primerjava koncentracij U-238 in Ra-226 po letih, ko so na voljo podatki, na odlagališču Boršt je na slikah (Slika 15, Slika 16). Ker gre za enkratne vzorce je težko ovrednoti izluževanje oziroma kakovost zapiralnih del. Iz enkratnih vzorcev bi lahko sklepali, da kakšnega večjega povečanja izločanja sedimentov iz Boršta ni.



Slika 15: Koncentracije U-238 v sedimentih iz Boršta



Slika 16: Koncentracije Ra-226 v sedimentih iz Boršta

III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA

Meritve mleka in hrane se že od 2013 dalje ne izvajajo. Po programu nadzora do zaprtja odlagališča bi se sicer morale izvajati meritve v vzorcu mleka in vzorcu sena/trave. Po zaprtju odlagališča meritev ni več v programu.

V okviru programa nadzora radioaktivnosti v krmi v Republiki Sloveniji, ki ga izvaja Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, sta bila v obdobju 2018-2025 analizirana vzorec sena iz odlagališča Boršt in vzorec sena iz Gorenje Dobrave. Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 so si v vzorcih iz lokacije Gorenja Dobrava ali iz Boršta podobne in ni razlike upoštevaje merilne negotovosti.

Če primerjamo vrednosti iz let 2018-2025 z vrednostmi iz leta 2005, ko se je nazadnje merilo koncentracijo radionuklidov v travi iz okolice RŽV, potem lahko ugotovimo, da so vrednosti bistveno nižje. Tako je bila npr. vrednost Ra-226 na odlagališču Boršt v 2005 okoli 90 Bq/kg, po letu 2018 pa nekaj Bq/kg. Pb-210 je bilo v travi iz odlagališča Boršt v letu 2005 okoli 70 Bq/kg, po 2018 pa 30-40 Bq/kg. Naravni radionuklidi pridejo v travo na odlagališčih iz materiala prekrivke, ki ima bistveno nižjo vsebnost naravnih radionuklidov, kot jo ima

jalovina iz obdobja rudarjenja. Nižje vrednosti so torej pričakovane. Vrednosti ne odstopajo od vsebnosti naravnih radionuklidov v senu na drugih lokacijah v Sloveniji [38].

Vzorec mleka iz okolice odlagališč nekdanjega rudnika urana Žirovski vrh se je nazadnje meril v letu 2013.

III.5 RIBE

Meritve radioaktivnosti rib v Todraščici ali Brebovščici v programu meritev niso predvidene.

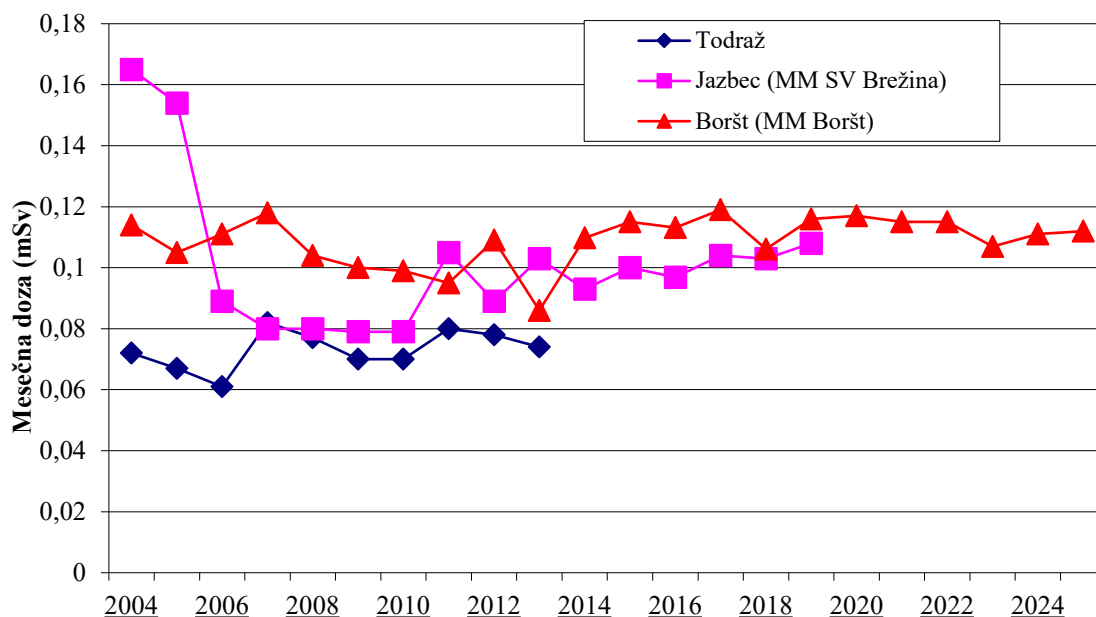
III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

V programu monitoringa za 2025 do zaprtja odlagališča so bile meritve zunanjega sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališču Boršt. Absorbirano dozo v zraku smo merili s termoluminiscentnimi dozimetri na dveh lokacijah (MM Boršt in Boršt etaža).

Izvajalo se je kvartalne meritve v prvi polovici leta 2025. Rezultati so predstavljeni v tabeli (Tabela V.5.1).

Do leta 2005 se je meritve mesečno izvajalo na 9 lokacijah v okolici RŽV. Po letu 2005 so meritve kvartalne na treh lokacijah, po 2019 pa je upravljanje odlagališč Boršt in Jazbec ločeno, ter izvajanje meritev odvisno od odločitve upravljalca odlagališča.

Pregled povprečnih mesečnih doz, izmerjenih s TL dozimetri na odlagališču Boršt, je na sliki (Slika 17). Mesečne doze smo dobili tako, da smo izmerjeno dozo v danem časovnem intervalu delili s številom mesecev v tem intervalu. Po 2004 se mesečna doza zunanjega sevanja giblje med 0,10 in 0,12 mSv, povprečna mesečna doza pa je 0,11 mSv. Kakšnih pomembnih odstopanj od povprečja ni.



Slika 17: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri. V letu 2025 se je izvajalo kvartalne meritve le v prvi polovici leta (1. in 2. kvartal). Na grafu je prikazana povprečna mesečna doza za prvo polletje 2025.

V splošnem velja [19], da k sevanju ozadja oziroma k zunanjemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in črnobilska kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred črnobilsko kontaminacijo [20] so bile med 0,10-0,12 $\mu\text{Gy/h}$ (hitrost absorbirane doze v zraku). Naravni sevalci gama so enakomerno porazdeljeni v zemlji, medtem ko je črnobilska kontaminacija višja v zgornjih plasteh.

Meritve absorbirane doze na odlagališču Boršt se v 2025 ni izvedlo. Bile so sicer v programu do zaprtja odlagališča, prav tako po zaprtju odlagališča. Ker se jih je običajno izvajalo v zadnjem kvartalu leta, jih upravljalec odlagališča do predaje odlagališča Agenciji za radioaktivne odpadke (30.5.2025) v letu 2025 ni izvedel.

Nivoji zunanjega sevanja na odlagališču so večinoma 0,100-0,120 $\mu\text{Sv/h}$. Izven odlagališča so ponekod nivoji sevanja celo višji kot na odlagališču. Zaključimo lahko, da odlagališče Boršt ne vpliva na nivo zunanjega sevanja izven odlagališča. Material prekrivke je naravni material, njegova naravna radioaktivnost ne presega vrednosti v materialu zunaj odlagališča Boršt.

IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA

Izračun prejetih doz smo opravili za vse možne prenosne poti razširjanja radioaktivnih snovi v okolje, za katere smo imeli merske podatke oziroma se jih je spremljalo v programu radiološkega monitoringa. Upoštevali smo zunanje sevanje in notranje obsevanje zaradi vnosa radioaktivnih snovi.

Pri izračunu smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje za ingestijo in inhalacijo po *Uredbi o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji* [8] in *Pravilniku o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz* [9]. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996, [24]), ki smo jih uporabljali v izračunih pred letom 2005.

Pri oceni efektivne ekvivalentne doze pri inhalaciji radonovih kratkoživih potomcev smo uporabili dozno konverzijo po *Uredbi o nacionalnem radonskem programu* [11] in *Uredbi o spremembi uredbe o nacionalnem radonskem programu* [12]. Dozna konverzija iz *Uredbe o nacionalnem radonskem programu* [11] ima osnovo v ICRP 137 [22].

V skladu z [9] smo izračunali doze za tri starostne skupine: odrasle, otroke stare 10 let (7-12 let) in dojenčke (otroci stari 1 leto). Do leta 2006 smo izračune doz izvajali le za odraslega prebivalca iz okolice RŽV.

Prebivalci v okolici RŽV so izpostavljeni sevanju naravnega ozadja in sevanju zaradi prispevka rudnika. Pri izračunu smo prispevek naravnega sevanja odšteli in s tem določili le dozo zaradi vpliva rudnika. Naravno ozadje smo določili z meritvami izven vplivnega območja rudnika.

Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, za katere se meritve v letu 2025 niso izvajale, ocene doz nismo ocenili.

IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI

IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku

Po končanih zapiralnih delih na odlagališčih Jazbec in Boršt ni več aktivnosti, ki bi povzročale prašenje in s tem razširjanje prašnih radioaktivnih delcev v okolje. Zadnje meritve koncentracije dolgoživih radionuklidov so bile izvedene v 2011 na lokaciji Gorenja Dobrava.

Ker RŽV ne izvaja aktivnosti, ki bi povzročale prašenje, ocenjujemo, da ni prispevka k dozi prebivalstva zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov.

IV.1.2 Rn-222, inhalacija

Podobno kot inhalacija dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste, tudi inhalacija Rn-222 ne pomeni večjega prispevka k dozi. Izračun doze in konverzijski faktor smo privzeli po ICRP 65 [23]. Čase zadrževanja v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [25]. Kot osnovni vhodni podatek za izračun smo upoštevali vrednost dodatne koncentracije Rn-222, ki ga povzroča odlagališče Boršt v dolini Brebovščice $0,1 \text{ Bq/m}^3$.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222, ki ga v dolini Brebovščice povzroča odlagališče Boršt, v letu 2025 je:

$$\begin{aligned} E &= 0,05 \pm 0,02 \text{ } \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &= 0,04 \pm 0,01 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &= 0,014 \pm 0,004 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.} \end{aligned}$$

IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija

Pri izračunu smo, tako kot doslej upoštevali, da se del prebivalstva vozi na delo v druge kraje, drugi del pa se ukvarja s kmetijstvom in je tako stalno izpostavljen vplivu rudnika. V dnevnem času, ko je človek najbolj aktiven, so koncentracije radona najnižje [27]. Koncentracija radona se sicer nenehno spreminja in najvišje vrednosti doseže v nočnem času. V stabilnih vremenskih razmerah je najvišja koncentracija na posameznih lokacijah tudi do 10 krat večja od najnižje, v vetrovnem in nestabilnem vremenu pa je ta razlika bistveno manjša. Primerjava izračunov z upoštevanjem dnevnega spreminjanja koncentracij ali izračunov s predpostavljeno enakomerno koncentracijo radona, pokaže le majhne razlike v oceni doze velikosti nekaj odstotkov.

Dozne pretvorbene faktorje smo privzeli po *Uredbi o nacionalnem radonskem programu [11]*. Pretvorbene faktorji so enkrat večji od faktorjev, veljavnih do leta 2022, zato so tudi ocenjene prejete doze ustrezno višje.

Za povprečni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na območju Gorenje Dobrave smo privzeli vrednost 0,4 [8], za radon v hišah pa prav tako ravnovesni faktor 0,4.

Produkt koncentracije in ravnovesnega faktorja, to je ravnotežna ekvivalentna koncentracija radona iz rudniških virov, je najvišja na področju Gorenje Dobrave [27]. V Todražu in Dolenji Dobravi je nekaj odstotkov nižja. Vendar so te razlike sorazmerno majhne in vse prebivalce v dolinah Todraščice in Brebovščice, v skladu s priporočili ICRP 43 [28] za homogenost referenčne skupine, obravnavamo kot eno referenčno skupino.

Zaradi rudnika je bila koncentracija radona na prostem v letih 1993 – 2007 v povprečju večja za okoli 7 Bq/m^3 (Slika 3). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med $6,2\text{--}9,3 \text{ Bq/m}^3$.

Od leta 2020 dalje upoštevamo, da odlagališče Boršt k povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice prispeva $0,1 \text{ Bq/m}^3$ in da je ocena negotova na 30 % s faktorjem pokritja

k=2. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev zaradi prispevka odlagališča Boršt je bila v letu 2025:

$$\begin{aligned} E &= 5,8 \pm 1,8 \text{ } \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &= 5,8 \pm 1,8 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &= 5,8 \pm 1,8 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto,} \end{aligned}$$

Ocena je narejena v skladu z *Uredbo o nacionalnem radonskem programu [11]*. Uredba ne razlikuje v dozi zaradi radona med otroci in odraslimi prebivalci, prav tako pa ne med pretvorbenim faktorjem za radon v stanovanju ali na prostem. Ocena je narejena za celotno leto 2025.

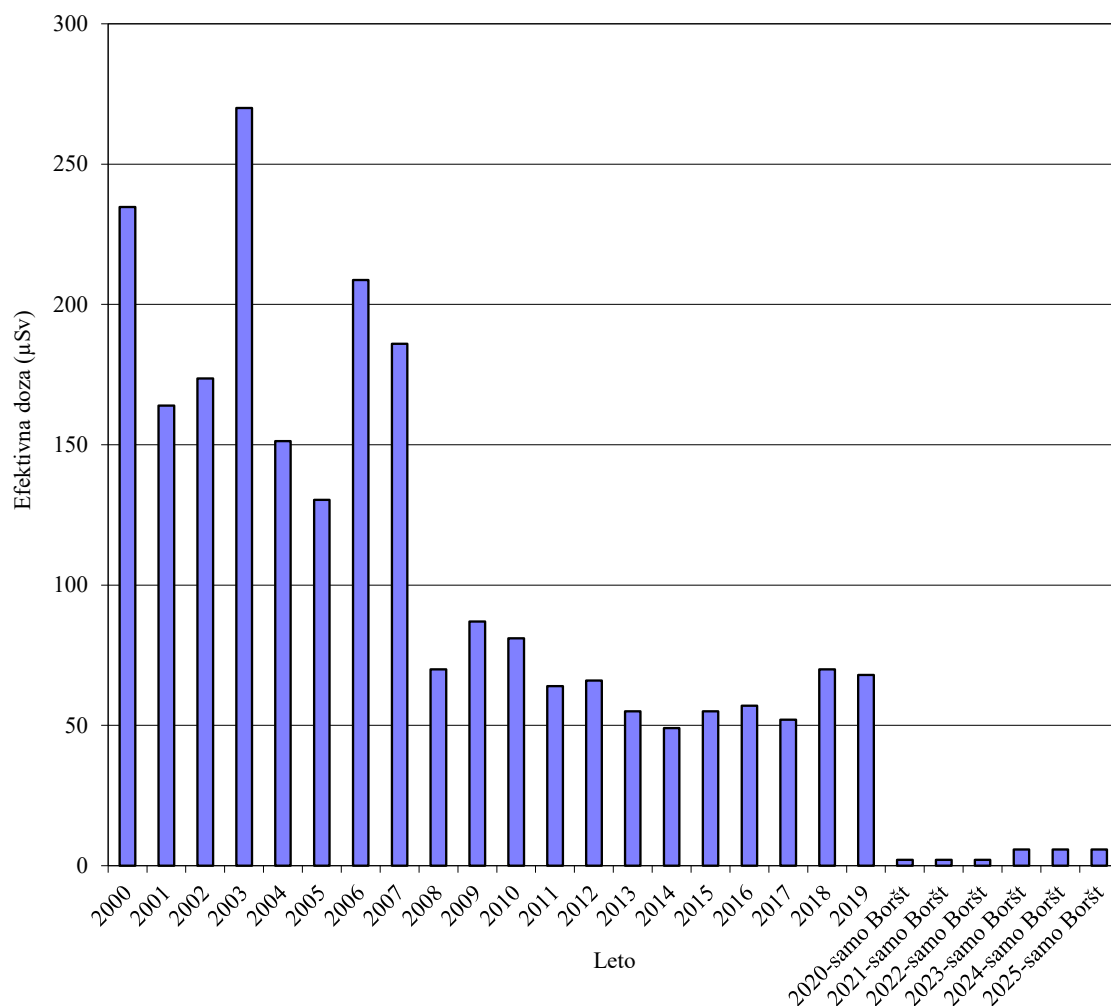
Če bi doze izračunali po stari metodologiji, veljavni do vključno leta 2022, bi bile doze:

$$\begin{aligned} E &= 2,1 \pm 0,6 \text{ } \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &= 2,0 \pm 0,6 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &= 2,3 \pm 0,7 \text{ } \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.} \end{aligned}$$

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev iz odlagališča Boršt so nizke, pravzaprav nepomembne. Še vedno pa k celotni dozi zaradi odlagališča Boršt in celotnega rudnika Žirovski vrh največ prispeva inhalacija radonovih kratkoživih potomcev. Letna efektivna doza od prenehanja proizvodnje se je do leta 2008 gibala med 0,15 mSv in 0,3 mSv (Slika 18), po letu 2008 pa je prispevek k dozi nekajkrat manjši in znaša med 0,05 mSv in 0,08 mSv. Ob metodologiji, ki smo jo uporabljali za oceno doze zaradi inhalacije radona in potomcev od 2010 do vključno 2022 [1], bi bila celo v letih, ko so bile izmerjene največje koncentracije radona na lokaciji pod transportnim trakom (npr. leta 1999 ali 2003), doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev pod 0,1 mSv, oziroma bi bil prispevek k povečanju koncentracije radona manjši od 5 Bq/m³.

Najbolj so zaradi vpliva nekdanjega rudnika obremenjeni prebivalci, ki živijo v dolinskem področju potoka Brebovščice v oddaljenosti 2-2,5 km od rudniških obratov, saj so tam koncentracije potomcev največje (poročila IJS 1990-1995, 1998, ZVD 1996-2000, IJS/ZVD 2001-2008, ZVD 2009-2011). Seveda ves radon ne izvira iz rudnika. Ocenjeni prispevek rudniškega radona k celotni koncentraciji radona v okolju je bil pred letom 2008 približno četrtina, kar smo ocenili iz razlike koncentracij radona na območju, kjer je možno z meritvami zaznati vpliv rudnika in območju, kjer vpliva ni. Glede na izvedena sanacijska dela na odlagališčih, se je izkazalo, da ocena prispevka rudniškega radona z odštevanjem izmerjenih koncentracij ni več ustrezna [1]. Po letu 2009 (vključno z letom 2009) smo ocenjevali prispevek rudniškega radona po metodologiji iz [1], saj premajhna občutljivost merilnih metod ni več omogočala določanja prispevka iz rezultatov meritev.

Od leta 2020 ocenjujemo dozo le zaradi prispevka radona iz odlagališča Boršt. Doza je glede na majhnost in dozo zaradi naravnega ozadja nepomembna.



Slika 18: Efektivne letne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za odraslega prebivalca v okolici RŽV

IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI

IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana

V 2025 meritev vzorcev hrane ni bilo izvedenih in doze ne ocenjujemo.

IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda

Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode iz Todraščice kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje

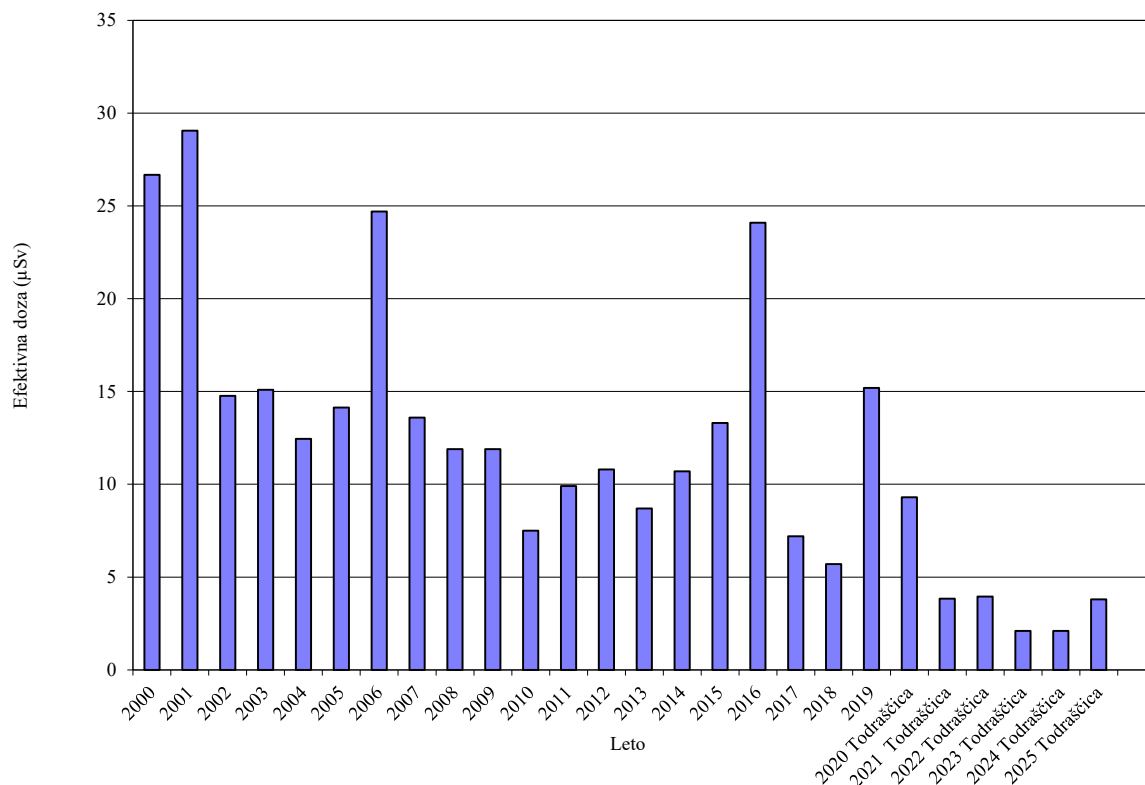
živine. Ocena doze je izdelana iz razlike koncentracije na merilnih mestih TODRAŠČICA PO in TODRAŠČICA PRED za enkratni vzorec. Vendar pa za izotopa Th-230 in Po-210 v programu ni meritev v TODRAŠČICI PRED. Zato smo za koncentracije za ta dva izotopa v TODRAŠČICI PRED vzeli vrednosti iz leta 2020, ko so meritve še bile opravljene. Za oceno doze v 2025 smo upoštevali merske podatke za enkratne vzorce vod v vzorcu vode TODRAŠČICA PO odvzetem 22.09.2025. Izračunana doza znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 3,8 \pm 0,8 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 4,1 \pm 0,9 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 3,1 \pm 0,7 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

Izračunana letna efektivna doza zaradi pitja vode zaradi pitja Todraščice je nižja kot zaradi pitja Brebovščice pred letom 2019 (Slika 19), seveda pa po 2019 ne ocenjujemo prispevka zaradi pitja vode iz Brebovščice, saj nimamo podatkov. Žal je ocena doze zaradi pitja vode zelo nezanesljiva, saj se meritve koncentracije radioaktivnih izotopov ne izvaja vsako leto ali se jih je izvajalo le za nekatere izotope, ne pa za vse. Za 2020 so na voljo za vse izotope, ki prispevajo k dozi, le za koncentracije izotopov v enkratnih vzorcih v Todraščici pred in po iztokih izcednih voda odlagališča Boršt (za vzorčevalno mesto Todraščica PRED sta bili k programu dodana Po-210 in Th-230), v 2021 pa samo za enkratne vzorce v Todraščici PO iztoku, za naravno ozadje na vzorčevalnem mestu Todraščica PRED pa ne v celoti (izvedene meritve po programu, torej brez Po-210 in Th-230). Za Brebovščico pred 2019 pa so na voljo npr. le podatki za koncentracije izotopov v enkratnih vzorcih Brebovščice PO, pa še to le za posamezne izotope. Zaradi tega so možne velike variacije v oceni doze, saj je doza odvisna predvsem od časa vzorčenja ter pretoka Brebovščice ali Todraščice v tem času. Za količine zaužite vode smo upoštevali $0,5 \text{ m}^3$ na leto [31].



Slika 19: Letne efektivne doze zaradi pitja vode za odraslega prebivalca iz okolice RŽV. Do leta 2019 so ocenjeni prispevki zaradi pitja Brebovščice, po 2020 pa zaradi pitja Todraščice.

IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA

IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi

Podobno kot ocenjujemo, da prispevka rudnika k dozi zaradi vdihavanja aerosolov v 2025 ni, tudi prispevek zunanjega sevanja zaradi talne depozicije aerosolov ocenjujemo na nič.

IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci

Pri izračunu smo uporabili pretvorbene faktorje za zračno imerzijo po UNSCEAR 2000 [31]. Za radon v hišah je pretvorbeni faktor $0,01 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$, na prostem pa $0,25 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$. Upoštevali smo faktor slabitve sevanja zaradi stavbe, čas zadrževanja zunaj in znotraj stavb in faktor ravnotežja na prostem in v hišah. Prišteli smo tudi dozo zunanjega sevanja zaradi depozicije radonovih potomcev.

Letna efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja zaradi radona in njegovih potomcev znaša:

$$E = 0,25 \pm 0,07 \text{ µSv.}$$

Tako za otroke kot odrasle smo privzeli enake predpostavke v izračunu doz.

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč

Meritev hitrosti doze v okolici odlagališča ni bilo izvedenih oziroma z njimi RŽV d.o.o. ne razpolaga, saj so bile morda izveden po predaji odlagališča v upravljanje Agenciji za radioaktivne odpadke. Nadzor v preteklih letih [2] je pokazal, da odlagališči ne prispevata k povečani dozi zunanjega sevanja. Že na samih odlagališčih so hitrosti doze na nivoju ozadja. Izven odlagališč posamezna povečanja pripisujemo geološkim posebnostim in ne vplivu odlagališča.

Za bližino odlagališča ocenjujemo letno efektivno dozo zaradi zunanjega obsevanja na:

$$E = 0,0 \mu\text{Sv}.$$

IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV

Skupno izpostavljenost prebivalstva virom sevanja iz odlagališča Boršt dobimo s seštevanjem prispevkov k dozi po vseh prenosnih poteh. Pri vsakem izračunu smo upoštevali najbolj realne možnosti in končna doza je realna doza, ki bi jo lahko dobil posameznik zaradi RŽV. Ocena je narejena za povprečnega odraslega posameznika, za otroka starega 10 let in za otroka starega 1 leto iz referenčne skupine ljudi v dolini Brebovščice. Posamezni prispevki k dozi po različnih prenosnih poteh so podani v tabeli (Tabela IV-1). Za prispevke prenosnih poti smo uporabili podatke meritev iz leta 2025, ki smo jih imeli na razpolago in so predstavljeni v tabelah z merskimi rezultati. Za prenosne poti, kjer ni na voljo merskih podatkov, doze nismo ocenjevali.

Tabela IV-1: Letna efektivna doza zaradi odlagališča Boršt za prebivalce v okolici RŽV

Prenosna pot	Pomembnejši radionuklidi	Letna efektivna doza ODRASLI (μSv)	Letna efektivna doza OTROCI 10 let (μSv)	Letna efektivna doza OTROCI 1 leto (μSv)
Inhalacija	- aerosoli z dolgoživimi radionuklidi - samo Rn-222 - Rn, kratkoživi potomci	0,0 $0,05 \pm 0,02$ $5,8 \pm 1,8$	0,0 $0,04 \pm 0,01$ $5,8 \pm 1,8$	0,0 $0,014 \pm 0,004$ $5,8 \pm 1,8$
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi - ribe (Ra-226, Pb-210) - kmetijski pridelki – mleko (Ra-226, Pb-210)	(3,8) - -	(4,1) - -	(3,1) - -
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija) - γ sevanje dolgoživih radionuklidov - γ sevanje v okolici odlagališč	$0,25 \pm 0,07$ 0,0 0,0	$0,25 \pm 0,07$ 0,0 0,0	$0,25 \pm 0,07$ 0,0 0,0

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz odlagališča Boršt v 2025 je:

6,1 μ Sv $\pm$ 4,1 μ Sv za odraslega prebivalca

6,1 μ Sv $\pm$ 3,4 μ Sv za otroka starega 10 let

6,1 μ Sv $\pm$ 3,6 μ Sv za otroka starega 1 leto

(zaokroženo, prispevek vode in hrane ni upoštevan). Negotovosti so določene s faktorjem zaupanja $k=2$.

Po *Zakonu o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (kratica ZVISJV-1, Ur. L. RS 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-IO)* je letna efektivna doza, ki jo sme prejeti posameznik iz prebivalstva, 1 mSv. Prispevek odlagališča Boršt dosega nekaj tisočink te vrednosti. Dodatna letna efektivna doza, ki jo sme prejeti posameznik iz kritične skupine prebivalstva v vplivnem območju RŽV je 0,3 mSv [13]. Izračunani prispevek za odraslega prebivalca predstavlja manj kot 1 % avtorizirane mejne vrednosti.

Letne efektivne doze odraslega prebivalca, ocenjene za območje vpliva nekdanjega rudnika urana Žirovski vrh, se gibljejo med 0,1 in 0,35 mSv (Slika 20). Po letu 2000 je viden pomik k nižjim vrednostim zaradi izvedenih del v obdobju 2000-2002, s katerimi so se zmanjšale emisije radona, ki največ prispeva k dozni obremenitvi prebivalstva. Po letu 2007 pri izračunu doz uporabljamo hitrosti dihanja iz reference [26]. Pred tem smo v izračunih dozne obremenjenosti uporabljali hitrosti dihanja za težko delo preko vsega dneva, kar je preveč konzervativna predpostavka. V primeru, da bi računali po enaki metodologiji kot pred letom 2007, so ocenjene letne efektivne doze okoli 10 % višje. V letu 2009 smo spremenili metodologijo ocene prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona, saj z merskimi metodami po izvedenih zapiralnih delih, prispevka ni bilo več mogoče oceniti. V obdobju 2014-2015 je v prispevku k oceni doze zaradi uživanja hrane upoštevano le mleko, niso pa upoštevana ostala živila, za katera ni rezultatov meritev po letu 2005. Po letu 2016 ne ocenjujemo več doze zauživanja hrane, saj merskih podatkov ni.

Prispevek k dozi zaradi uživanja hrane iz okolice RŽV je za odraslega človeka znašal v letu 2005, ko se je nazadnje celovito vzorčilo hrano, manj kot 40 μ Sv.

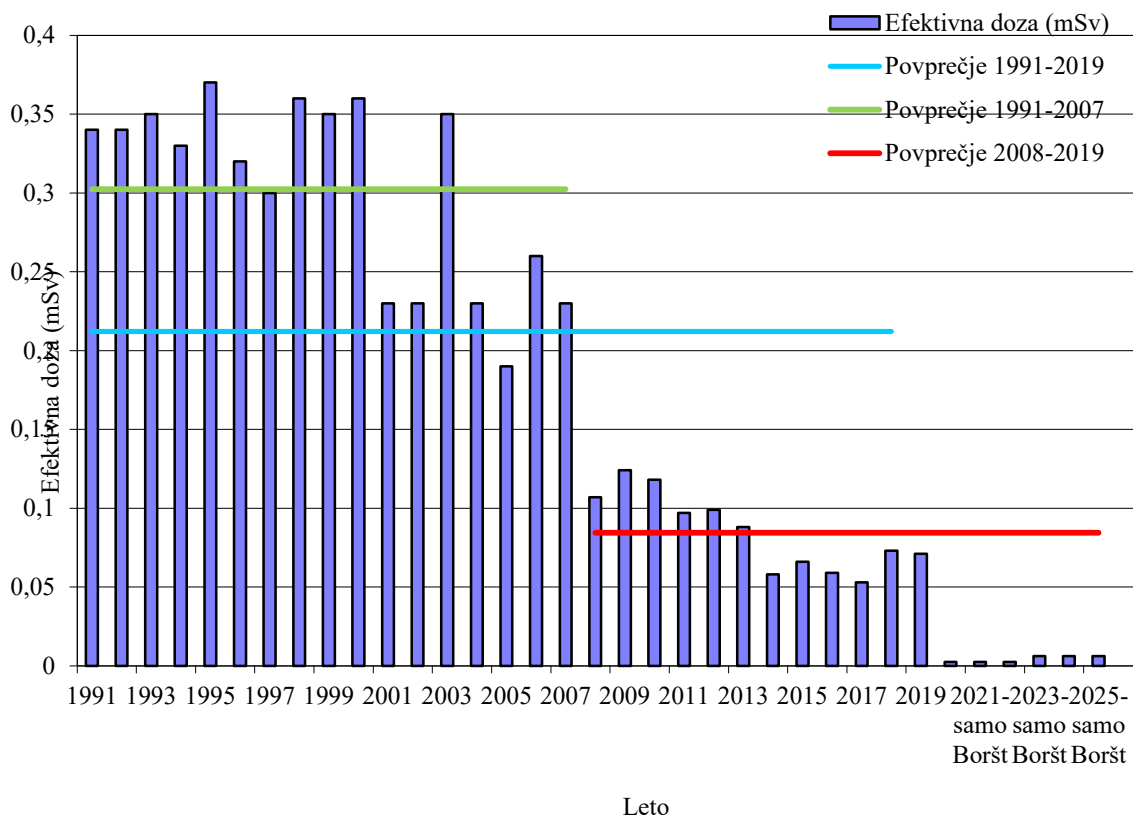
V oceni doze od 2014 dalje ni upoštevana prenosna pot zaradi inhalacije dolgoživih radionuklidov v zraku (aerosoli).

Prispevek k dozi zaradi inhalacije dolgoživih radionuklidov iz okolice RŽV je za odraslega človeka znašal v letu 2010, ko se je nazadnje celovito vzorčilo aerosole, 3 μ Sv.

Od 2023 za oceno doze zaradi inhalacije radonovih potomcev upoštevamo metodologijo iz *Uredbe o nacionalnem radonskem programu [11]*, ki od 2023 dalje predpisuje za približno faktor 2 višje dozne pretvorbene faktorje kot pred 2023.

V letih 2020 -2025 smo ocenili le dozo zaradi prispevka odlagališča Boršt. V 2025 smo sicer

ocenili dozo za celo leto čeprav so bili na voljo le omejeni podatki oziroma meritve, ki jih je izvajal RŽV d.o.o. do predaje odlagališča Boršt v upravljanje Agenciji za radioaktivne odpadke ali podatki, ki jih je imel RŽV d.o.o. na voljo za leto 2025.



Slika 20: Skupne letne efektivne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV. Za leta 2020 - 2025 je izračunana le doza zaradi vpliva odlagališča Boršt

IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV

Na osnovi meritev radona in sevanja gama v hišah in na prostem je Uprava RS za varstvo pred sevanji v 2023 razpisala nalogo za oceno doze zaradi naravnega ozadja v Sloveniji. Študijo so izdelali sodelavci ZVD. Pri oceni doze so upoštevali vse vire, ki jim je izpostavljeno prebivalstvo.

Ocena je pokazala [32], da znaša povprečna izpostavljenost prebivalcev naravnim virom sevanja v občini Gorenja vas - Poljane okoli 4,9 mSv na leto. To je dvakrat več od svetovnega povprečja. Doza zaradi vpliva odlagališča Boršt v letu 2025 je $0,0061 \pm 0,0041$ mSv. Prispevek je nepomemben in nekajkrat manjši kot je dnevna doza naravnega ozadja v okolici nekdanjega rudnika urana.

V. PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI Z AVTORIZIRANIMI VREDNOSTMI

V tabeli (Tabela V-1) podajamo avtorizirane mejne vrednosti (iz soglasja k lokacijski dokumentaciji št. 531-4/231/76-34/L14, ki jih je dne 24. 4. 1996 predpisal Zdravstveni inšpektorat RS) in vrednosti, ki so bile izmerjene v programu nadzora za leto 2025. Avtorizirane mejne vrednosti iz predhodnega soglasja Zdravstvenega inšpektorata RS k lokacijski dokumentaciji z dne 24. 4. 1996 so veljale in se uporabljale do 22. 4. 2025, ko je odlagališču Boršt prenehal status sevalnega objekta.

Avtorizirane vrednosti iz leta 1996 so že zastarele. Po izvedenih zapiralnih delih in sanacijskih ukrepih so bile nove avtorizirane mejne vrednosti določene za odlagališče Jazbec (odločba URSJV št. 3570-2-/2019/9 z dne 24.9.2019). Za odlagališče Boršt so bile nove avtorizirane mejne vrednosti, opozorilne vrednosti in dozne ograde predlagane v Oceni varstva pred sevanji, odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, oznaka RŽV/VIII-OV3/R3, Todraž, februar 2025, ki je bila vključena v Varnostno poročilo za odlagališče Boršt kot priloga 13. poglavja. 20. 2. 2025 je bilo izdano Strokovno mnenje o Oceni varstva pred sevanji za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, oznaka dokumenta: LDOZ-16/2025-GO, dr. Gregor Omahen, ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Februarja 2025 je bila zaključena revizija Varnostnega poročila za odlagališče Boršt. Pooblaščen strokovni izvedenec za sevalno in jedrsko varnost dr. Gregor Omahen je izdal pozitivno Strokovno mnenje o Varnostnem poročilu za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, revizija D, februar 2025, oznaka dokumenta: LMSAR-21/2025-GO, ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o., Ljubljana, 21. 2. 2025. Uprava RS za jedrsko varnost je v Dovoljenju za zaprtje odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt, št. 3610-1/2024/63, z dne 24. 3. 2025, v II. točki odobrila »Varnostno poročilo, revizija D, št. projekta UZVJ-B103/059, februar 2025, IBE«, katerega sestavni del je tudi Ocena varstva, ki je vključena kot Priloga 13.1 v poglavju 13 Ocena varstva pred sevanji. S tem so bile odobrene tudi v Oceni varstva predlagane AMV, opozorilne vrednosti in dozne ograde, ki veljajo od zaprtja odlagališča.

Tabela V-1: Avtorizirane mejne vrednosti po odločbi Zdravstvenega inšpektorata RS iz 1996 in izmerjene vrednosti v programu nadzora

Parameter	Avtorizirana vrednost	Izmerjena ali izračunana vrednost v 2025
Dodatna letna efektivna ekvivalentna doza	0,3 mSv/leto	0,0061 mSv (le odlagališče Boršt)
Izhajanje radona iz površin odlagališča Boršt	< 0,7 Bq/m ² .s	0,062 Bq/m ² .s (le letne meritve, izvedel RŽV d.o.o.)
Hitrost doze zunanjega sevanja na področju odlagališča Boršt	< 200 nGy/h	ni podatka

V skupnem iztoku izcednih voda odlagališča Boršt letna specifična aktivnost Ra-226 ne sme preseči vrednosti 60 Bq/m ³ ,	60 Bq/m ³	7,5 Bq/m ³ za obdobje 1.1.-30.4.2025 (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG).
Izcedne vode odlagališča Boršt, letna aktivnost Ra-226	50 MBq	1,15 MBq za obdobje 1.1.-30.4.2025 (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG), linearna interpolacija za celo leto: 3,45 MBq.

V Varnostnem poročilu, revizija D (Št. projekta UZVJ-B103/059, februar 2025, IBE) so navedene avtorizirane mejne vrednosti po zaprtju odlagališča Boršt. Navajamo jih v tabeli (Tabela V-2).

Tabela V-2: Avtorizirane mejne vrednosti iz *Ocene varstva pred sevanji Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, oznaka RŽV/VIII-OV3/R3, februar 2025*», Priloga 13.1 v Varnostnem poročilu, revizija D (Št. projekta UZVJ-B103/059, februar 2025, IBE)

Parameter	Avtorizirane vrednost	Izmerjena ali izračunana vrednost v 2025
Časovno in ploskovno letno povprečje vseh meritev gostote radona iz prekrivke odlagališča Boršt	Do 0,2 Bq/m ² /s, za posamezno mesto meritve radonskega toka do 0,5 Bq/m ² /s	0,062 Bq/m ² .s (le letne meritve, izvedel RŽV d.o.o.)
Povprečna hitrost absorbirane doze zunanjega sevanja gama na odlagališču Boršt	0,2 µSv/h, merjeno na višini 1 m nad tlemi	ni podatka
Specifične aktivnosti raztopljenih radionuklidov v iztoku merilnega mesta Boršt potok glavni (BPG), povprečna letna vrednost analiz	²³⁸ U 3.000 Bq/m ³ ²²⁶ Ra 40 Bq/m ³ ²¹⁰ Pb 25 Bq/m ³ ²¹⁰ Po 20 Bq/m ³ ²³⁰ Th 2 Bq/m ³	637 Bq/m ³ za 1.1.-30.4.2025 (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG) 7,5 Bq/m ³ za 1.1.-30.4.2025 (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG) Ni podatka Ni podatka Ni podatka
Avtorizirana mejna vrednost za celotni vpliv Rudnika Žirovski vrh je letna efektivna doza prebivalcev	0,3 mSv/leto	0,0061 mSv (le odlagališče Boršt)

VI. ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV ODLAGALIŠČA BORŠT ZA LETO 2025

V tem poglavju podajamo oceno vplivov odlagališča Boršt na okolje in primerjavo med obdobjem, ko je rudnik obratoval, obdobjem, ko so se izvajala dela končne ureditve nekdanjih rudniških objektov ter po končani ureditvi rudniških objektov.

1. Radioaktivni aerosoli, ki vsebujejo dolgožive radionuklide uranove razpadne vrste nastajajo predvsem pri izkopu, drobljenju, transportu, odlaganju in ravnanju jamske jalovine in kontaminiranega materiala. Vdihavanje teh delcev, njihovo usedanje na površine in imerzija ne predstavljajo večje dozne obremenitve. Ocenjujemo, da po letu 2010 tega prispevka ni več, saj RŽV ni izvajal aktivnosti, ki bi povzročala prašenje. Od leta 2012 teh meritev tudi ni več v programu.
2. Najpomembnejši vir radiološke obremenitve okolice RŽV je radon (Rn-222) s svojimi kratkoživimi potomci. Vir radona sta odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt in odlagališče rudarske jalovine Jazbec. Na odlagališču Jazbec so v obdobju 2006-2008, na odlagališču Boršt pa v obdobju 2007-2010 potekale aktivnosti končne ureditve odlagališča (preurejanje površine, vgradnja končne prekrivke, drenaže). Odlagališče Jazbec so v letu 2008 v celoti prekrili s končno prekrivko, v letu 2009 pa še odlagališče Boršt. Posledica prekrivanja so zmanjšane ekshalacije radona in nizke izmerjene koncentracije radona na obeh odlagališčih ($20\text{--}40 \text{ Bq/m}^3$).

K povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice prispeva radon iz odlagališč Jazbec in Boršt. Ocenjujemo, da oba objekta skupaj k povečanju koncentracije v Gorenji Dobravi prispevata okoli 5 % celotne koncentracije. Prispevek odlagališča Boršt k povečanju koncentracije radona je nekajkrat manjši kot prispevek odlagališča Jazbec. Zelo konzervativno je ocenjen na $0,1 \text{ Bq/m}^3$ [39], [40].

Zaradi majhnega deleža je prispevek težko izmeriti, sploh ob zelo zmanjšanem programu monitoringa zraka oziroma radona v zraku.

3. Tekoči izpusti iz rudnika in odlagališč na Jazbecu in Borštu zvišujejo vsebnost radioaktivnih snovi v površinskih vodah okoli rudnika, to je v Todraščici in Brebovščici. Glavni vir onesnaževanja z uranom je jamska voda, izcedne vode odlagališča Boršt in odlagališča Jazbec po izvedenih zapiralnih delih prispevajo približno enako, to je vsak okoli 10 % vseh emisij urana.

Tudi z Ra-226 je glavni onesnaževalec jamska voda.

Koncentracije Ra-226 so bile vse do 2009 višje v Todraščici, vendar je pretok Todraščice 5-6 x manjši kot pretok Brebovščice. Skupna aktivnost je tako večja v Brebovščici. V obdobju 2009-2019 so bile v Todraščici koncentracije Ra-226 nižje kot v Brebovščici, kar potrjuje tezo, da je glavni onesnaževalec, po izvedenih

zapiralnih delih na Borštu, glavni onesnaževalec z Ra-226 jamska voda.

Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2009 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todraščici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču Boršt, predvsem izvedba dodatnih drenažnih sistemov v odlagališču.

Po letu 2014 je viden trend povečanja koncentracij Pb-210 v Todraščici. Na odlagališčih se zaradi radioaktivnega razpada povečuje aktivnost Pb-210, ki se približuje polovici aktivnosti Ra-226.

V Todraščici niso presežene mejne vrednosti koncentracije urana in Ra-226 za vode, namenjene za pripravo pitne vode, predpisane z *Uredbo o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (Ur. L. RS, št. 18/2018)*. Največji delež k dozni obremenitvi bi pri uporabi te vode prispevala kontaminacija z uranom in Ra-226.

Vodotokov in podzemne vode v okolici RŽV prebivalci ne uporabljajo za pitje, namakanje polj ali napajanje živine, zato onesnaženost voda z radionuklidi ne vpliva na sevalno obremenjenost prebivalstva.

4. Sedimenti ne predstavljajo večjega vira sevanja za okoliške prebivalce.

Izmerjene koncentracije radionuklidov v sedimentih so odvisne od količine vode oziroma padavin, od sposobnosti odlagališč, da zadržujejo material ter nenazadnje od ustreznih merskih podatkov.

Program nadzora radioaktivnosti sicer ne omogoča rednega spremljanja ampak le občasna preverjanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih.

5. Pri kmetijskih pridelkih je morebitne vplive rudnika težje določiti. Nalogo še oteži uporaba mineralnih gnojil z večjo vsebnostjo dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste. Do kontaminacije kmetijskih pridelkov pride predvsem po zračni prenosni poti. Radioaktivni delci se usedajo na zunanje dele rastlin ali na zemljo, od koder pridejo v globino in preko korenin v rastlino. Za mleko ni merskih podatkov o vsebnosti radionuklidov od leta 2014, za ostale kmetijske pridelke pa že od leta 2005. Zato doze po prehrabeni prenosni poti od 2016 ne ocenjujemo več.
6. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v času obratovanja rudnika ta prispevek znašal le 0,01 % skupne radioaktivnosti v orni plasti tal. Po letu 1990 se je prispevek useda znižal skoraj za cel velikostni razred in s tem tudi kontaminacija zemlje. S prekritjem obeh rudniških odlagališč ter zaprtjem jame je ostala kot vir radioaktivnih prašnih delcev samo resuspenzija.

-
7. Dodatno zunanje sevanje, ki izvira od virov RŽV, je zelo majhno v primerjavi z naravnim ozadjem. Pripišemo ga lahko le imerziji zaradi radona, ne pa vplivu odlagališč.

Imerzijski prispevek kratkoživih radonovih potomcev v zraku je zelo majhen in znaša zaradi vpliva odlagališča Boršt 0,25 μ Sv.

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referenčne skupine prebivalcev zaradi vpliva odlagališča Boršt, smo v letu 2025 ocenili na 6,1 μ Sv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 6,1 μ Sv in za otroke stare 1 leto 6,1 μ Sv. Od 2020 ocenjujemo le dozo zaradi vpliva odlagališča Boršt. Letna doza zaradi vpliva odlagališča Boršt je nepomembna in je nekajkrat manjša od dnevne doze prebivalca iz te okolice zaradi naravnega ozadja.

10. Celotno izpostavljenost naravnim virom sevanja za prebivalce v občini Gorenja vas - Poljane so ocenili sodelavci ZVD v študiji v letu 2023 na 5,0 mSv letno. Pri tem ni upoštevana černobilska kontaminacija in medicinska uporaba sevanja. Ocenjena vrednost je znatno višja od svetovnega povprečja (2,4 mSv), vendar pa nekaj nižja od letne doze naravnega sevanja v Sloveniji, ki znaša 6,0 mSv [32] in glede na doze naravnega ozadja, področja ne moremo obravnavati kot področje s povečanim tveganjem zaradi radona.

VII. PREDLOGI

/

VIII. REZULTATI MERITEV

V.1. ZRAK

Koncentracije Rn-222 v okolici Rudnika Žirovski vrh in na jaloviščih

Tabela V.1.1. Povprečja koncentracije Rn-222, merjena z detektorji sledi

DOLINA TODRAŠČICE

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrletje 30.12.24-31.3.25 Bq/m ³	Koncentracija 2. četrletje 31.3.-2.7.25 Bq/m ³	Koncentracija 2. polletje 2.7.25-6.1.26 Bq/m ³	Koncentracija 4. četrletje Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje
Bačenski mlin	39 ± 6	48 ± 7	31 ± 5	±	39 ± 6
Debelo Brdo	< 10	10 ± 2	±	±	10 ± 7
ZVD- Ljubljana *	21 ± 3	15 ± 2	±	±	18 ± 3

JALOVISČE BORŠT

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrletje 30.12.24-31.3.25 Bq/m ³	Koncentracija 2. četrletje 31.3.-2.7.25 Bq/m ³	Koncentracija 2. polletje 2.7.25-6.1.26 Bq/m ³	Koncentracija 4. četrletje Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
---------------	--	--	--	--	---

Boršt, ovinek-most	27 ± 4	12 ± 2	47 ± 7	±	29 ± 5
Boršt etaža	< 10	29 ± 4	12 ± 4	±	21 ± 7
MP Boršt (nekdanja lokacija na odlagališču do 2021)	44 ± 7	32 ± 5	32 ± 5	±	36 ± 6
Kozolec Potokar	49 ± 7	21 ± 3	±	±	35 ± 5

V.2 VODA

Tabela V.2.1: Koncentracija raztopljenega U-238 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po) in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok Todraščice v letu 2025

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i> ***	
I. kvartal			50,0 ± 11,0	0,19
II. kvartal*			50,8 ± 78,1	0,10
III. kvartal			±	ni podatka
IV. kvartal			±	ni podatka
Povprečje**			50,4 ± 55,8	0,14

* povprečni pretok le za april in maj 2025

** povprečni pretok januar-maj 2025

*** meritve je RŽV izvajal le v 1. kvartalu

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju (1. kvartal) in

EUROFINS raziskave okolja Slovenija d.o.o. (2. kvartal), poročilo št. 775/25 z dne 11.07.2025

V.2 VODA

Tabela V.2.2: Koncentracija raztopljenega Ra-226 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po) in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok Todraščice v letu 2025

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i> ***	
I. kvartal			1,8 ± 0,42	0,19
II. kvartal			±	0,10
III. kvartal			±	ni podatka
IV. kvartal			±	ni podatka
Povprečje			1,8 ± 0,4	0,14

* povprečni pretok le za april in maj 2025

** povprečni pretok januar-maj 2025

*** meritve je RŽV izvajal le v 1. kvartalu

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Tabela V.2.3: Koncentracija raztopljenega Pb-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po) in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok Todraščice v letu 2025

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)**	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal			13,3 ± 3,6	0,19
II. kvartal			±	0,10
III. kvartal			±	ni podatka
IV. kvartal			±	ni podatka
Povprečje			13,3 ± 3,6	0,14

* povprečni pretok le za april in maj 2025

** povprečni pretok januar-maj 2025

*** meritve je RŽV izvajal le v 1. kvartalu

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Tabela V.2.4: Koncentracija raztopljenih U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih vod v letu 2025

Datum odvzema vzorca: 22.09.2025

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Todraščica pred	6,9 ± 0,7	0,8 ± 0,2	ni v programu	ni v programu	ni v programu
Todraščica po	76,9 ± 6,9	1,9 ± 0,3	9,1 ± 3,7	ni v programu	ni v programu

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Tabela V.2.6 Koncentracija raztopljenih U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih vod v letu 2025
iz odlagališča Boršt

Datum odvzema vzorca: 22.09.2025

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Boršt, BPG	ni meritve	11,6 ± 1	30,8 ± 4,2	0,50 ± 0,04	0,082 ± 0,017

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Todraščica po

Tabela V.3.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Todraščice PO v letu 2025

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

1. poletje: Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 7.1.2025-1.7.2025

2. poletje: Kompozitni vzorec ni več v programu po zaprtju odlagališča

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	7.1.2025-1.7.2025			1.7.2025-
IZOTOP	Bq/kg			ni več v programu
U-238	52	±	4	±
Ra-226	77	±	7	±
Pb-210	70	±	4	±
Th-230	68	±	30	

Meritve opravljene na IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Boršt, Glavni potok

Tabela V.3.4: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih (enkratni vzorci) vode iz Boršta, zahodni Boršt potok v letu 2025

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	01.04.2025			22.09.2025		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	180	±	9	290	±	10
Ra-226	140	±	10	140	±	10
Pb-210	100	±	8	120	±	7
Th-230	120	±	20	100	±	20

Meritve opravljene na IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

V.4. KRMA

Tabela V.4.2.: Vsebnost U-238, Ra-226 in Pb-210 v vzorcih krme s področja RŽV v letu 2025

Meritve so bile izvedene v okviru programa meritev radioaktivnosti krme, ki ga je financiralo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. **Meritve niso v programu po zaprtju odlagališča Boršt.**

Datum odvzema vzorca: 10.6.2025

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg suhega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt, seno	2,1 ± 1,4	< 2,2	14,4 ± 1,5

Meritve opravljene na IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

Datum odvzema vzorca: 11.6.2025

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Gorenja Dobrava	< 3,8	3,7 ± 2,0	20,0 ± 1,9

Meritve opravljene na IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

V.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

Tabela V.5.1 Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV v 2025

Rezultati so podani v mSv. Meritve le za 1. in 2. kvartal

	1. polletje		2. polletje		POL-Letna doza
	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	
<i>MM Boršt</i>	0,337	0,337			0,674
<i>Boršt etaža</i>	0,331	0,340			0,671

Meritve izvedel ZVD d.o.o.

LITERATURA

- [1] M. Križman, Metodologija za oceno Rn-222 prispevka RUŽV, Ljubljana, 2010.
- [2] G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, za leta 2010-2019.
- [3] G. Omahen, Meritve radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, Rezultati za 2001, DP-1002/02, marec 2002.
- [4] G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2010.
- [5] Varnostno poročilo za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in dopolnitev varnostnega poročila, št. UZJV---OP/01A, rev. A, september 2012
- [6] M. Kralj, Dopolnitev varnostnega poročila - odlagališče rudarske jalovine Jazbec, rev. A-4, Poglavje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju, oznaka ARAO 05-01-002, junij 2019
- [7] Regulatory Guide 4.14, "Radiological Effluent and Environmental Monitoring at Uranium Mills," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1980.
- [8] Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji, Ur. L. RS št.18/2018.
- [9] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, št. 115/03 in 83/16)
- [10] Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (Uradni list RS, št. 47/18.
- [11] Uredba o nacionalnem radonskem programu, Ur. L. RS št. 18/2018.
- [12] Uredba o spremembi Uredbe o nacionalnem radonskem programu, Ur. L. RS 152/2020.
- [13] Lokacijska dokumentacija št. 531-4/231/76-34/L14 z dne 24.04.1996.
- [14] A. R. Byrne, L. Benedik, Determination of uranium at trace levels by radiochemical neutron-activation analysis employing radio isotopic yield evaluation, Talanta 35 (1988), 161-166.
- [15] Lozano, J.C., Fernandez, F., Gomez, J.M. Determination of radium isotopes by BaSO₄ coprecipitation for the preparation of alpha-spectrometric sources, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol.223, No.1-2 (1997), 133-137.
- [16] BENEDIK, Ljudmila, VREČEK, Polona. Determination of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in environmental samples. Acta chim. slov., 2001, no. 2, vol. 48, str. 199-213.
- [17] Eichrom Technologies. Analytical Procedures, Thorium in Water. ACW10, Rev. 1.0
- [18] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poročila IJS 1990-1995.
- [19] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [20] Poročila o monitoringu radioaktivnosti v življenjskem okolju RS, 1964-2018, ZVD
- [21] Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
- [22] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 137, Ann. ICRP 46 (3/4), 2017, Pergamon Press, New York.
- [23] Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, 1993, Pergamon Press, New York.
- [24] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
- [25] M.J. Križman, Metodologija za ocenjevanje doz sevanja za referenčne skupine prebivalstva na območju RŽV, RŽV, 2008.

-
- [26] Age dependent Doses to Memembers of the Public from Intake of Radionuclides,; Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 71, 1995, Pergamon Press, New York.
 - [27] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1990.
 - [28] Principles of Monitoring for the Radiation Protection od Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
 - [29] J. Rojc, Prehrambene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
 - [30] Assesing Dose of the Representative Person for the Purpuse of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection, ICRP Publication 101, Elsevier, 2006
 - [31] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Report of the General Assembly, UN, New York, 2000.
 - [32] A. Žohar, M. Podvratnik, G. Omahen, Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja, ZVD, LMSAR-20230024-AŽ-rev1, 2023.
 - [33] M. Križman, Radon in njegovi kratkoživi potomci v okolju kot posledica rudarjenja urana na Žirovskem vrhu, doktorska disertacija, Ljubljana, 1999
 - [34] G. Omahen, B. Smodiš, M. Štok, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2007
 - [35] P. Jovanovič, G. Omahen, Ovrednotenje merskih podatkov radioaktivne kontaminacije vzorcev krme za leto 2014, št. poročila LMSAR-20140018-PJ, ZVD, 2014.
 - [36] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in temperate Environments, Technical Report No. 364, IAEA 1994.
 - [37] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in terestial and freshwater Environments, Technical Report No. 472, IAEA 2010
 - [38] P. Jovanovič, G. Omahen: Ovrednotenje merskih podatkov radioaktivne kontaminacije vzorcev krme za leto 2016, LMSAR-20160024-PJ, ZVD, september 2016
 - [39] Varnostno poročilo za Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, Rev. C., oznaka UZVP---0P0001C, IBE, avgust 2019
 - [40] J. Rojc, H. Klemenčič, Avtorizirane mejne vrednosti in dozne ograde za Odlagališče HMJ Boršt, dopolnitev varnostnega poročila za odlagališče HMJ Boršt, Poglavje 13, maj 2020
 - [41] M. Križman, Metodologija za oceno 222Rn prispevka zaradi odlagališča Boršt po končni ureditvi na dolino Todraščice, Ljubljana, oktober 2020
 - [42] Primopredajni zapisnik o prevzemu odlagališča hidrometalurške jalovine in spremljajoče infrastrukture na območju nekdanjega rudnika urana Žirovski vrh, št. 05-02-001-001/250530-MR HK, z dne 30. 5. 2025.