Gregor Omahen

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH, ODLAGALIŠČE BORŠT

POROČILO ZA LETO 2020

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

Center za fizikalne meritve, Laboratorij za specifične meritve aktivnosti radionuklidov

© 2021 ZVD d.o.o.

Poročilo vsebuje skupaj 70 strani ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti.
Izdal: ZVD zavod za varstvo pri delu d.o.o., Ljubljana, marec 2021

Slika na naslovnici: Kanal K-1 © Hiacinta Klemenčič
Slika na zadnji strani: Pridobivalni prostor Jaka, Merilno mesto BPG © 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 ERICO SLOVENIJA Inštitut za ekološke raziskave d.o.o. Koroška 58, 3320 Velenje
Naročilnica številka:	129/7/21 z dne 05.03.2021 (RŽV, d.o.o.)
Nosilec naloge:	dr. Gregor Omahen
Naslov poročila:	Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh, odlagališče Boršt, poročilo za leto 2020
Avtor poročila:	dr. Gregor Omahen, univ.dipl.fiz.
Številka poročila:	LMSAR-20/2021
Datum poročila:	25.03.2021
Izvajalci meritev:	
Zavod za varstvo pri delu:	dr. Gregor Omahen, dr. Marko Giacomelli, Peter Jovanovič, inž. fiz., Dušan Konda, Majda Levstek, Lili Peršin
Institut »Jožef Stefan«:	prof. dr. Borut Smodiš, prof. dr. Ljudmila Benedik, doc.dr. Marko Štrok, dr. Benjamin Zorko, dr. Marijan Nečemer, mag. Branko Vodenik, Leja Rovan
Slika na naslovni strani:	Kanal K-1, foto Hiacinta Klemenčič
Kopije:	Naročnik RŽV, d.o.o (6 x) Arhiv CFM (1x) Nosilec naloge (1 x)

elektronsko podpisano
dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

NASLOV POROČILA:
NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH, ODLAGALIŠČE BORŠT, POROČILO ZA LETO 2020

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 2020 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi odlagališča Boršt preteklih za odraslega prebivalca 2,4 ± 1,6 µSv, za otroka starega 10 let 2,3 ± 1,3 µSv in za otroka starega 1 leto 2,6 ± 1,5 µSv, kar predstavlja približno 0,25% 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 2020

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 2020 was about 2,4 ± 1,6 µSv, for 10 years old child 2,3 ± 1,3 µS mSv and for 1 year old child 2,6 ± 1,5 µSv. This represents approximately 0,25 % of authorized dose limit for public exposure.

KAZALO

UVOD **8**

I. METODE MERJENJA **11**

I.1 ZRAK **11**

I.2 VODE **11**

I.3 SEDIMENTI **12**

I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA **12**

II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI **14**

II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2020 14

II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT **19**

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2020 ..... **22**

III.1 ZRAK **22**

III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 22

III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju 22

II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov 29

III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODZEMNA VODA **30**

III.2.1 Vodotoki 30

III.3 SEDIMENTI **38**

III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA **42**

III.5 RIBE **43**

III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA **43**

IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA **46**

IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI **46**

IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku 46

IV.1.2 Rn-222, inhalacija 47

IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija 47

IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI **49**

IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana 49

IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda 49

IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA **50**

IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi 51

IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci 51

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč 51

IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV **51**

IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV **54**

V. PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI Z AVTORIZIRANIMI VREDNOSTMI 54

VI. ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV ODLAGALIŠČA BORŠT ZA LETO 2020 56

VII. PREDLOGI 59

VIII. REZULTATI MERITEV 60

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 izkopanine 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 MZ 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 hidrometaluške 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, predmetu in pogojih opravljanja obvezne državne gospodarske javne službe dolgoročnega nadzora in vzdrževanja odlagališč rudarske in hidrometalurške jalovine, ki nastane pri pridobivanju in izkoriščanju jedrskih mineralnih surovin (Uradni list RS, št. 76/15). 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 odlagališče Boršt do zaprtja upravlja 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, Poglavje 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 letu 2020 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 pripravi ločeno poročilo o vplivu na okolje za odlagališče Jazbec.

Na območju odlagališča Boršt je RŽV, d.o.o. v letu 2020 izvajal redna vzdrževalna dela, nadzor stanja in monitoring. Dodatnih del ni bilo. V prvi polovici leta je bil zaključena prestavitev meteorološke postaje Boršt na zgornji plato odlagališča. Na prvotni lokaciji vremenske postaje na platoju pod odlagališčem sta ostala merilno mesto Boršt (detektorji sledi in TLD dozimeter) in merilna postaja GPS sistema za meritve stabilnosti.

Padavine v letu 2020 so bile v okviru povprečja padavin v obdobju 2005-2019, izrednih razmer (dolgotrajno sušno obdobje, izredne intenzivne padavine) ni bilo. Hitrost premikanja plazu ostaja približno 2 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).

V letu 2019 so bile izvedene meritve koncentracije radona z detektorji sledi na lokacijah v

dolini Brebovščice: Todraž in Gorenja vas. V dolini Todraščice so bile izvedene meritve na lokacijah Debelo brdo in Bačenski mlin.

Meritve ekshalacije radona na odlagališču Boršt je v letu 2020 izvedel upravljalec objekta. Na odlagališču Boršt sta bili po programu izvedeni letna in zimska meritev.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2020 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Todraščice PO. V programu za leto 2020 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 2020 so bile izvedene v Todraščici PO in v sedimentih Zahodnega Boršt potoka (nadzor odlagališča Boršt).

Meritve vzorcev sena/trave so bile izvedene na lokaciji na Borštu in v Gorenji Dobravi. Vzorca mleka v dolini Todraščice, zaradi opuščene govedoreje, ni bilo mogoče zagotoviti.

Nadzor zunanjega sevanja s pasivnimi dozimetri na odlagališču Boršt je potekal na dveh lokacijah. Upravljalec odlagališča Boršt je izvedel tudi meritve hitrosti doze na in v okolici odlagališča.

Program meritev v letu 2020 so izvajali Institut "Jožef Stefan" in ZVD Zavod za varstvo pri delu. ZVD je kot pooblaščeni 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 2020 smo za določanje posameznih prenosnih poti uporabili iste mikrolokacije ter enake analizne oziroma merilne metode kot v preteklih letih, seveda z upoštevanjem zmanjšanega 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 za leto 2020 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 2020 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) [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 2020 ne razlikujejo od metod v preteklih letih. V nadaljevanju naštevamo le metode, ki so se uporabljale pri izvajanju nadzora v 2020.

I.1 Zrak

I.1.1 Koncentracijo radona določamo z metodo z detektorji sledi. Koncentracijo določamo preko daljših časovnih obdobij; 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/m^3.

I.2 Vode

Vodo iz potoka Brebovščica smo vzorčevali enkrat letno. Odvzelo se je 30 L vode. Vodo iz potoka Todraščica smo vzorčili le ob delovnih dnevih in sicer po 1 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 radiokemično nevtronsko aktivacijsko analizo (meritve na Inštitutu Jožef Stefan). Metoda 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/m^3. 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]. Vzorcu vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytics, ZDA). Zatem smo dodali H_2SO_4 in sooborili Ba ter Ra v obliki $PbSO_4$. Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki $Ba(Ra)SO_4$ z dodatkom Ba nosilca, ocetne kisline, Na_2SO_4 in $BaSO_4$. 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/m^3. 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 MnO_2. 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/m^3 in za Po-210 0,03 Bq/m^3. 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 NdF_3 in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m^3. 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).

I.4.2 Zunanje sevanje gama merimo v neposredni okolici območja odlagališča hidrometalurške jalovine.

Identifikacijo merilnih mest v naravi so opravljali s pomočjo sistema LEICA GEOSYSTEMS GS20 (meritve na Borštu).

Pri meritvah so izvajalci meritev uporabljali prenosni merilnik (točka I.4.1) z možnostjo integracijskega odčitavanja. Merili so na višini 1 meter od tal. Rezultate za okoliški ekvivalent doze podajamo v enotah µSv/h.

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 2020

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 2020, kjer navajamo tudi, če meritve niso bile izvedene.

Tabela II-1:Program nadzora radioaktivnosti okolja na odlagališču Boršt za leto 2020.

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	kvaratalno, 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	kvaratalno, 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	kvaratalno, 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	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todraščica po	Voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	**5. leto**	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**	10
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

II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT

Program monitoringa tekočih in plinastih izpustov iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt 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-2:Program nadzora radioaktivnosti tekočih in plinastih izpustov iz odlagališčih Boršt za leto 2019.

Vrsta in opis vzorčenja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
ZRAK					
^{222}Rn, detektor sledi	Kozolec Potokar* MP BORŠT* BORŠT etaža BORŠT zgoraj*	zrak	kontinuirno, (po potrebi 2 detekt. istočasno)	četrtletno 3. – 5. leto 3. – 5. leto 1. – 5. leto 3. – 5. leto	4 4 4 4
^{222}Rn, kontinuirno vzorčenje, merilnik radona	MP BORŠT BORŠT etaža BORŠT zgoraj Izvedel RŽV	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 Izvedel RŽV	zrak	kontinuirno črpanje zraka	vsako uro 1. - 5. leto	vsako uro
^{222}Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa	drenažni tunel Izvedel RŽV	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 oglenimi adsorberji ali merilnikom radona	odlagališče Boršt 4 kontr. točke na brežinah 3 kontr. točke na zgornjem ravnem delu odlagališča	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

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	četrtletno 1. – 5. leto	4

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2020

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 Jazbec in Boršt za obdobje 2012-2020 je v tabeli (Tabela III-1). Meritve izvedel RŽV, d.o.o. Že vsa leta od 2012 v poročilih predlagamo, da vsaj del meritev ekshalacije naredita skupaj upravljalec objekta in pooblaščena organizacija in se na ta način preveri zanesljivost meritev RŽV d.o.o. ali ARAO ter tudi oceni merilna negotovost, ki je upravljalec objekta ne podaja. Nenazadnje je merilni inštrumentarij pooblaščene organizacije umerjen, metoda pa akreditirana po standardu ISO 17025, kar zagotavlja sledljivost rezultatov ter strokovnost, ki jo vsako leto preverjajo strokovni ocenjevalci.

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 2012-2020 (Bq/m^{2}s), izračunana iz meritev, ki so bile izvedene v različnih obdobjih leta. Meritve je izvajal upravljalec

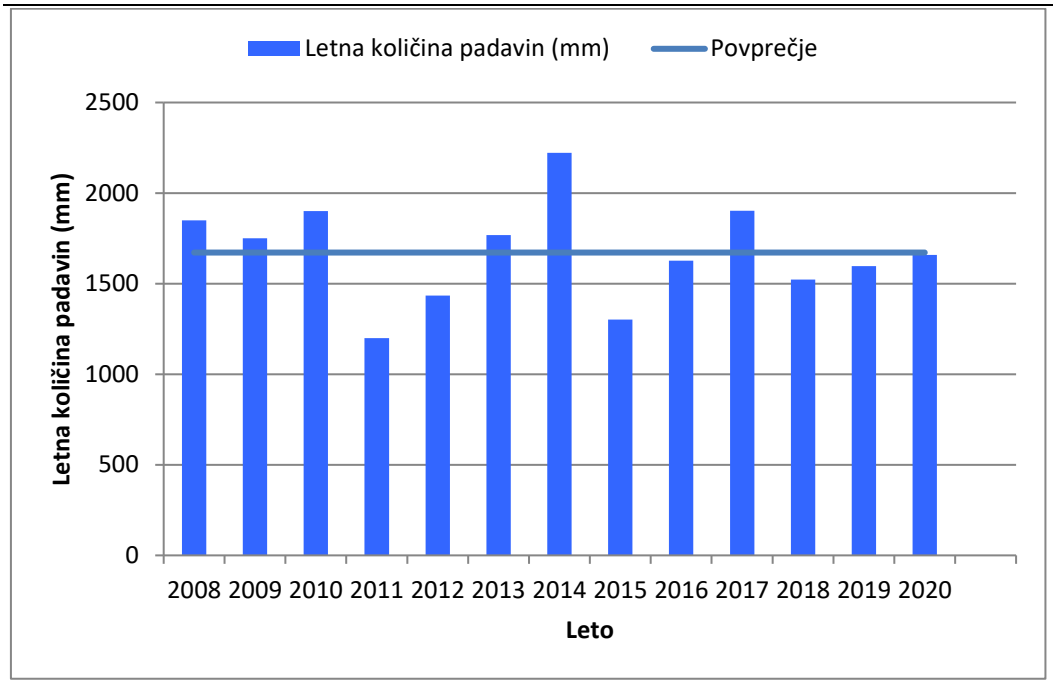
odlagališča sam (RŽV, d.o.o.).

Leto	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Odlagališče Boršt									
Zimsko obdobje	0,034 ± 0,007 Datum meritev: december 2020	0,044 ± 0,018 Datum meritev: 22.-31.1.2020	0,037 ± 0,026	0,024	Ni izvedeno	0,042	0,031	0,030	Ni izvedeno (razmočenost terena)
Letno obdobje	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	0,059	0,054	0,024	0,080	0,037

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 ± 0,02 Bq/m^{2}s (povprečje vrednosti za obdobje 2012-2020)

Izhajanje radona iz prekrivke na odlagališčih se je v preteklih letih stabiliziralo in ustalilo. Na izhajanje radona iz tal vplivajo tudi razpoke v tleh, ki jih je več v sušnih letih. Pomembna je tudi razporeditev padavin, saj lahko enkratno močno deževje kot npr. v oktobru 2014 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 slik (**Napaka! Vira s klicevanja ni bilo mogoče najti.**, Slika 1) bi težko zaključili, da so v zelo sušnih letih (npr. 2011 ali 2015) bistveno višje koncentracije radona v zraku. Verjetno na nižje koncentracije radona v zraku v zadnjih letih vplivajo predvsem kakovostno izvedena prekrivka na odlagališčih Jazbec in Boršt ter izvedena zapiralna dela v jami. 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 detektorje sledi dobavlja podjetje Landauer Nordic, ki je za meritve radona z detektorji sledi akreditirano 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:

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

pri čemer je

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

Za leto 2020 skušamo oceniti prispevek odlagališča Boršt k povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice. Iz osnutka Varnostnega poročila za odlagališče HMJ Boršt [39] in predloga avtoriziraneh mejnih vrednosti [40] povzemamo ocene prispevka radona iz odlagališča Boršt.

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/m^2.s, maksimalno do 10 Bq/m^2.s, na severni in zahodni brežini odlagališča, prekriti z inertnim materialom z lokacije, pa do 2 Bq/m^2.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/m^2.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

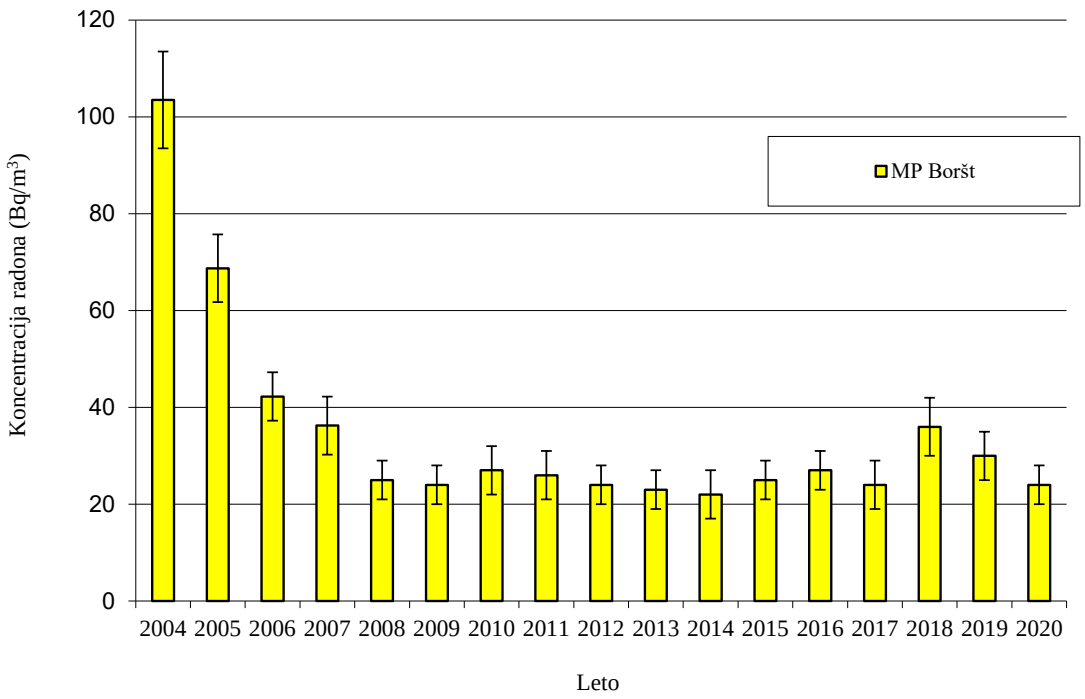
odlagališča h koncentracijam v dolini Todraščice na osnovi meritev radona in njegovih kratkoživih potomcev ocenjen na okrog 7-8 Bq/m^3. Po končni ureditvi odlagališča leta 2010 se je radonski tok iz površine prekrivke zmanjšal na raven vrednosti naravnega ozadja zunaj odlagališča in znaša v povprečju <0,05 Bq/m^2.s. S tem se je od leta 2010 zmanjšal tudi ocenjeni prispevek radona v dno doline Todraščice in je od takrat dalje ocenjen na vrednost <1 Bq/m^3, skupaj s prispevkom iz drenažnega rova. V [33] je emisija radona iz odlagališča Boršt ocenjena na 4,2 TBq/leto ter iz odlagališča Jazbec ocenil 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/m^3), 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 plazu. 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/m^3, **v dolini Brebovščice pa h koncentracijam v Gorenji Dobravi na manj od 0,1 Bq/m^3**.

Na odlagališču Boršt (Boršt, merilna postaja) so izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2020 za več kot dvakrat nižje kot pred končno ureditvijo posameznega odlagališča v 2008 (Slika 2).

Na ostalih lokacijah v okolici RŽV, predvsem pa v dolini Brebovščice, večjih sprememb oziroma opaznega zmanjšanja koncentracije radona ni. Še največja sprememba oziroma zmanjšanje je na lokaciji v Todražu. Možno je, da so že vrednosti naravnega ozadja tako visoke, da vpliv rudnika, ki se zmanjšuje, postaja nemerljiv z obstoječo metodologijo. V letih 2009 in 2010 je zaradi ugotavljanja prispevka rudniškega radona in primerjave z ozadjem ZVD v dogovoru z RŽV izvedel meritve koncentracije radona tudi na Hotavljah ob domačiji Jezeršek in na Dobravšcah v dolini pod hišo Lavričevih [4]. Iz izmerjenih vrednosti na lokacijah po dolini Brebovščice se ni dalo ugotoviti prispevka rudniškega radona na osnovi dosedanje metodologije, to je primerjave koncentracij radona izmerjene z detektorji sledi na različnih lokacijah. Vrednosti v Todražu, Gorenji Dobravi, Dolenji Dobravi, Gorenji vasi, Hotavljah ali Dobravšcah so namreč razlikujejo znotraj merilne negotovosti.

Dolina Todraščice je v primerjavi z dolino Brebovščice zelo ozka, leži v smeri V-Z, pravokotno na dolino Brebovščice.



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

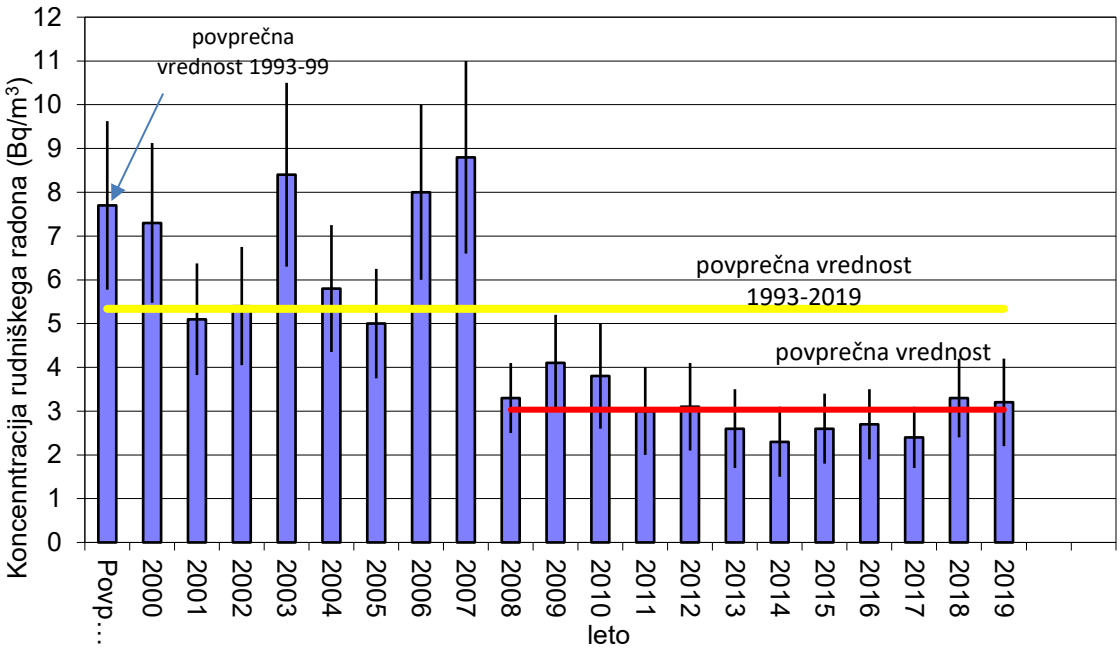
Iz tabele (Tabela III-2) in slike (Slika 3) lahko ugotovimo, da se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirjajo na nižji ravni kot je bila pred letom 2006. Po obsežnih zapiralnih delih v 2007 in 2008 je prispevek rudniškega radona padel. Z merilnimi metodami prispevka ni več možno oceniti in ga od leta 2010 določamo na osnovi modela [1].

Tabela III-2: Prispevek rudnika h koncentraciji Rn-222 v Gorenji Dobravi po posameznih letih (Bq/m^3)

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 ± 0,8	4, 1±1,1	3,8±1,2	3,0 ± 1,0	3,1 ± 1,0	2,6 ± 0,9	2,3 ± 0,8	2,6 ± 0,8	2,7 ± 0,8

Leto	2017	2018	2019	2020
Prispevek RŽV	2,4 ± 0,7	3,3 ± 0,9	3,2 ± 1,0	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 Bq/m^3 oziroma v obdobju 1993 do 2007, ko je že bila izvedena večina zapiralnih del, 7,2 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 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 dvodnevnih 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 dvodnevnih 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)

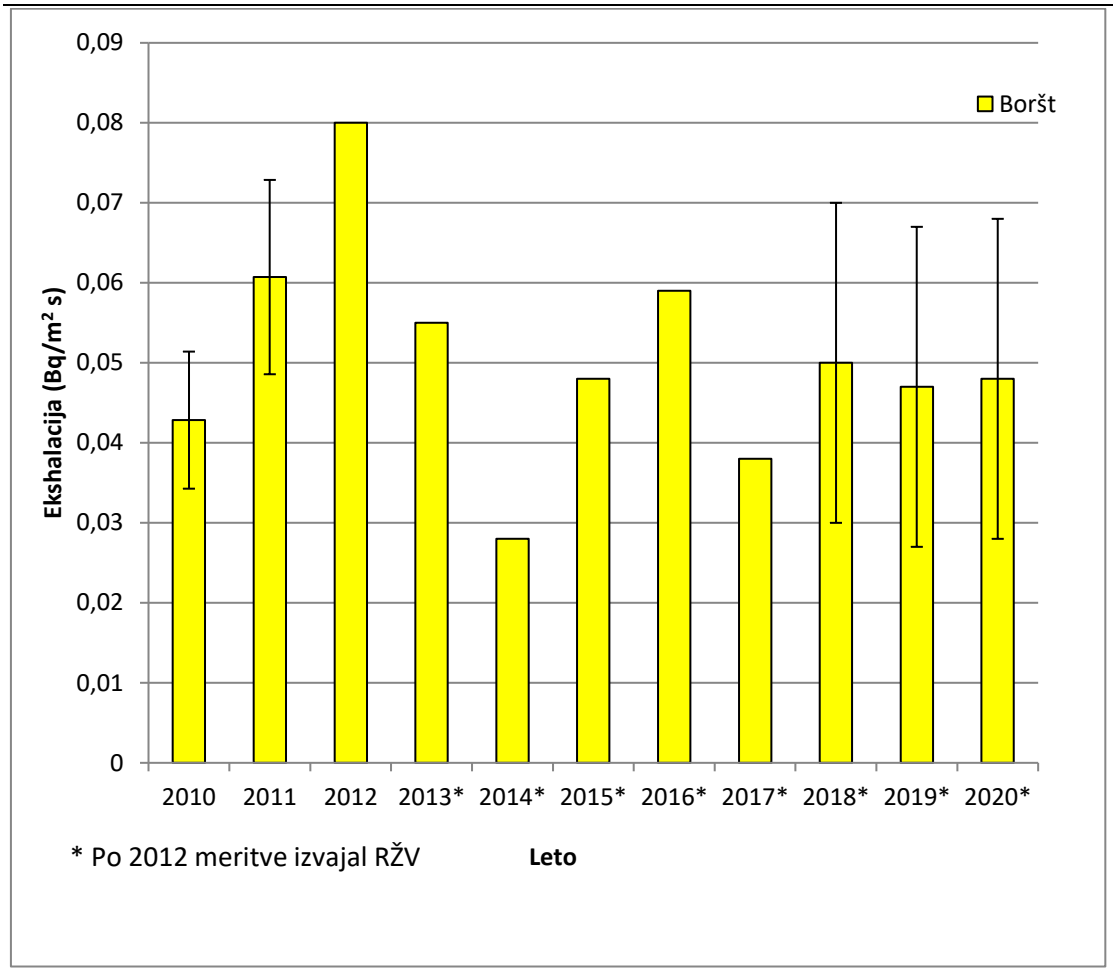
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

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 pooblaščena 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 pooblaščena organizacija. Od leta 2017 dalje (vključno z letom 2017) RŽV, d.o.o. izvaja meritve ekshalacije radona na odlagališču Boršt. Predlagamo, da določen del meritev v bodoče naredita skupaj pooblaščena organizacija, ki izvaja meritve radona z metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025 in RŽV, d.o.o. in se na ta način preveri neakreditirane metode oziroma izvede primerjalne meritve.

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

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



Slika 4: Ekshalacija radona iz odlagališča Boršt po izvedenih zapiralnih delih. Prikazano je povprečje letnih in zimskih meritev.

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 – 30 Bq/m^3, 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.

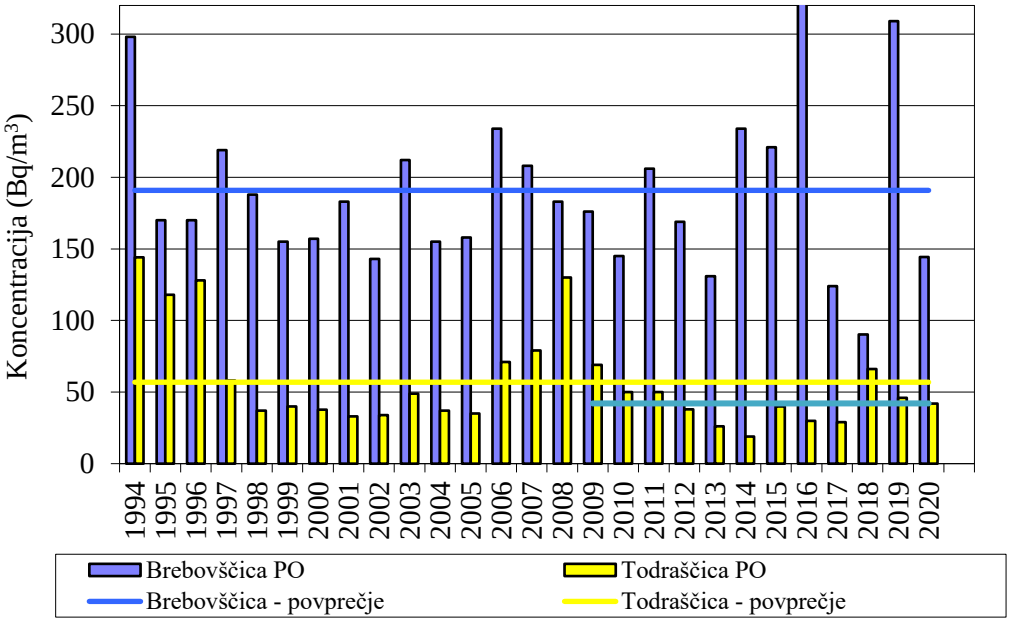
Kljub zmanjšanemu programa nadzora vodotokov se tudi zahtevani program ni izvajal v celoti. V nekaterih letih ni bilo izvedenih meritev, ki jih je predvideval program, spet v kakšnem drugem letu pa so meritve bile izvedene, čeprav jih program ni predvideval. Nesistematičen nadzor pomeni težjo interpretacijo prehajanja radionuklidov iz odlagališč v okolje.

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.

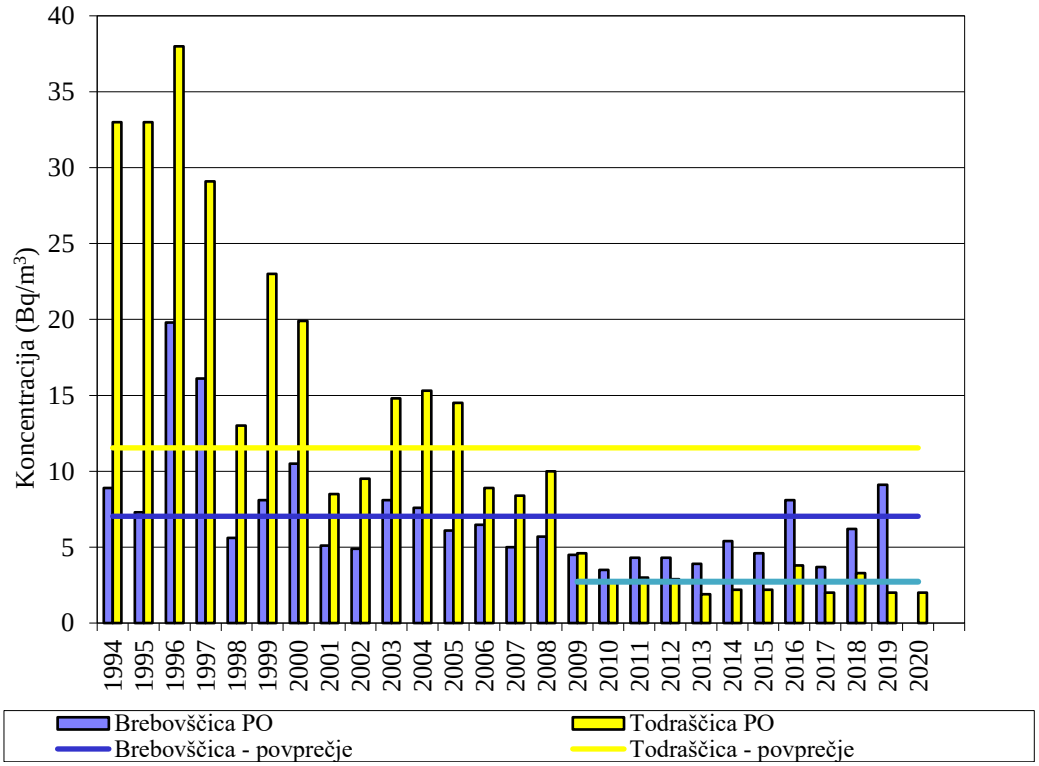
Povprečne koncentracije so določene kot aritmetično povprečje koncentracij izmerjenih po posameznih mesecih in ne kot uteženo povprečje z upoštevanjem pretokov. Izmerjene koncentracije med obratovanjem rudnika v obdobju 1985 - 1990 so zbrane v tabeli (Tabela III-3).

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

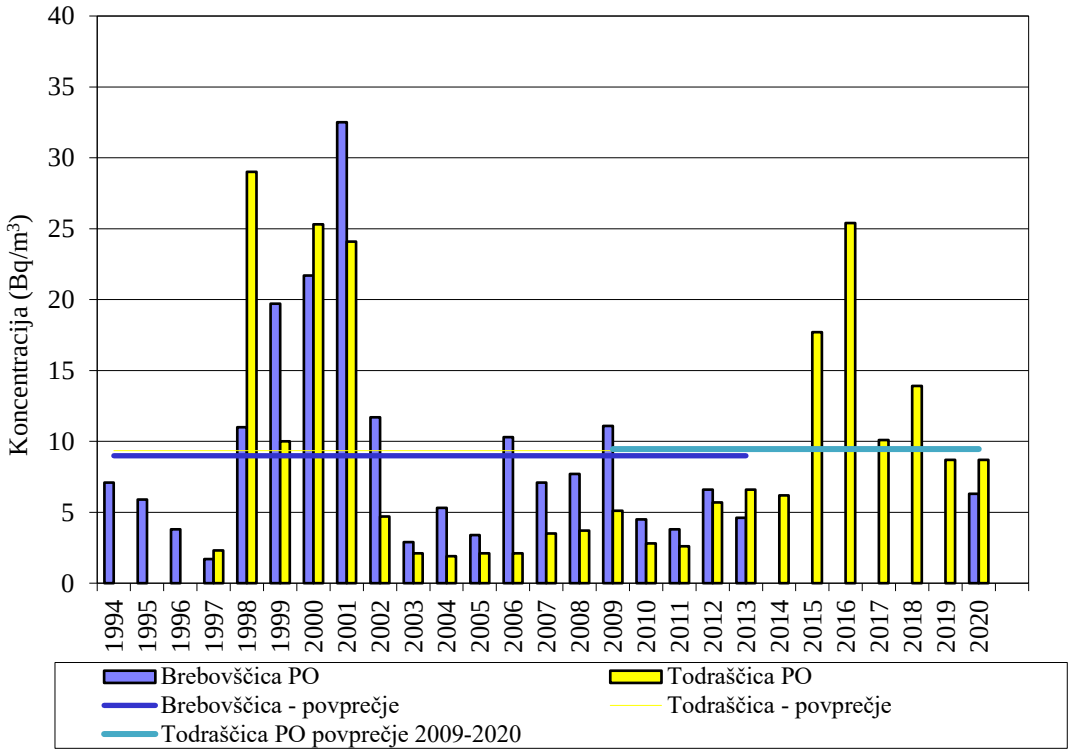
	U-238 (Bq/m^3)	Ra-226 (Bq/m^3)	Pb-210 (Bq/m^3)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 5: Povprečne letne koncentracije U-238 v Brebovščici PO in Todraščici PO. Za vrednosti v Brebovščici PO od 2014 dalje navajamo izmerjene vrednosti v enkratnem vzorcu, ki naj bi bil odvzet v času povprečnega pretoka.



Slika 6: Povprečne letne koncentracije Ra-226 v Brebovščici PO in Todraščici PO. Za vrednosti v Brebovščici PO od 2014 dalje navajamo izmerjene vrednosti v enkratnem vzorcu, ki naj bi bil odvzet v času povprečnega pretoka.



Slika 7: Povprečne letne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici PO

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 Bq/m^3), za Pb-210 (IK = 190 Bq/m^3) in za Ra-226 (IK = 480 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-5). 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 2020 je RŽV v skladu s programom monitoringa izvedel meritve U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih v Todraščici PRED in Todraščici PO dotoku zalednih voda iz odlagališča Boršt. Koncentracije U-238 se v Todraščici po dotoku voda iz Boršta povečajo za skoraj 10x, Ra-226 pa za 2x (Tabela V.2.4).

Odlagališče Jazbec in jamska voda s tekočinskimi izpusti prispevata k povečanju koncentracije U-238 in Ra-226 v Brebovščici. Meritve enkratnih vzorcev v letu 2019 so pokazale, da se koncentracije U-238 povečajo za skoraj 10 x po dotoku vod iz Jazbeca in

jame, koncentracije Ra-226 pa za skoraj 5 x (Tabela III-4).

Tabela III-4: Koncentracije U-238 in Ra-226 v enkratnih vzorcih Brebovščice

	2019	2018	2017	2016
U-238 (Bq/m^3)				
Brebovščica PRED	4,8 ± 0,4	9,9 ± 1,2	Ni meritev	Ni meritev
Brebovščica PO	309 ± 19	131 ± 17	124 ± 8	371 ± 31
Ra-226 (Bq/m^3)				
Brebovščica PRED	2,0 ± 0,3	1,6 ± 0,3	Ni meritev	Ni meritev
Brebovščica PO	9,1 ± 1,0	3,4 ± 0,4	3,7 ± 0,4	8,1 ± 0,9

Brebovščica v reko Soro prinese U-238 in Ra-226. Povečanje v Sori po dotoku Brebovščice, v primerjavi s koncentracijami nad dotokom Brebovščice, je sorazmerno z velikostjo pretokov Brebovščice in Sore. Meritve enkratnih vzorcev izvedene v 2015 in 2016 so za uran potrdile, da je povečanje koncentracije v Sori približno v razmerju pretokov Sore in Brebovščice. V letu 2015 so bile koncentracije U-238 v Brebovščici PO (221 ± 8 Bq/m^3) in v Sori PO pa (16,5 ± 0,5 Bq/m^3), v 2016 pa so bile koncentracije U-238 v Brebovščici PO (371 ± 31 Bq/m^3) in v Sori PO (37,6 ± 4,0 Bq/m^3),

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 (Tabela III-4).

Tekočinske emisije so močno odvisne od količine padavin. V letih, ko je več padavin, je več izpiranja 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. 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.

Tabela III-5: 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	2017
Letne tekočinske emisije U_3O_8 (kg)											
Boršt	21	77	43	29	12	10	17	14	9,8	12,5	17
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)											
Boršt	11,9	35	13	12,5	3	3,4	5,8	5,0	2,9	3,3	3,8

	2018	2019	2020			
Letne tekočinske emisije U_3O_8 (kg)						
Boršt	22,3	17,7	21,5			
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)						
Boršt	3,74	3,32	3,10			

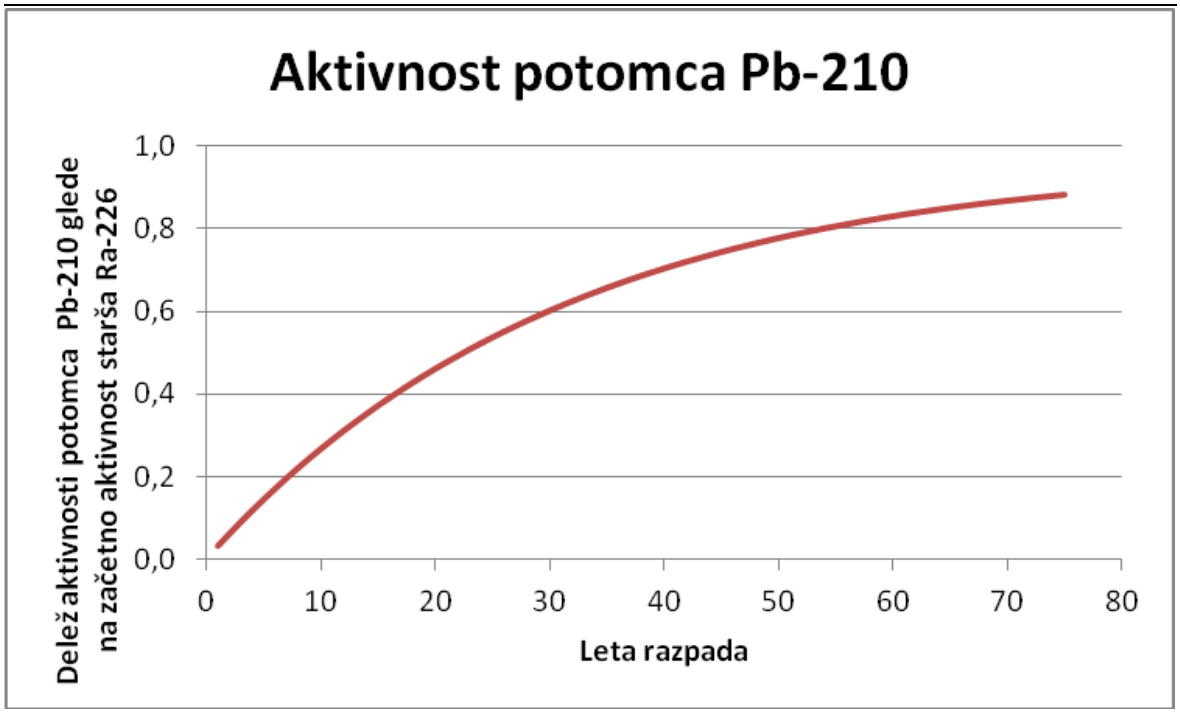
Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todraščici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču Boršt (Slika 5).

Na izmerjene koncentracije radionuklidov vplivajo tudi pretoki vodotokov (Slika 9). 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 ± 10 Bq/m^3), vzroka za tako visoko vrednost U-238 v zadnjem kvartalu ne poznamo. Izmerjene vrednosti v 2019 in 2020 so v okviru povprečja za obdobje po 2009.

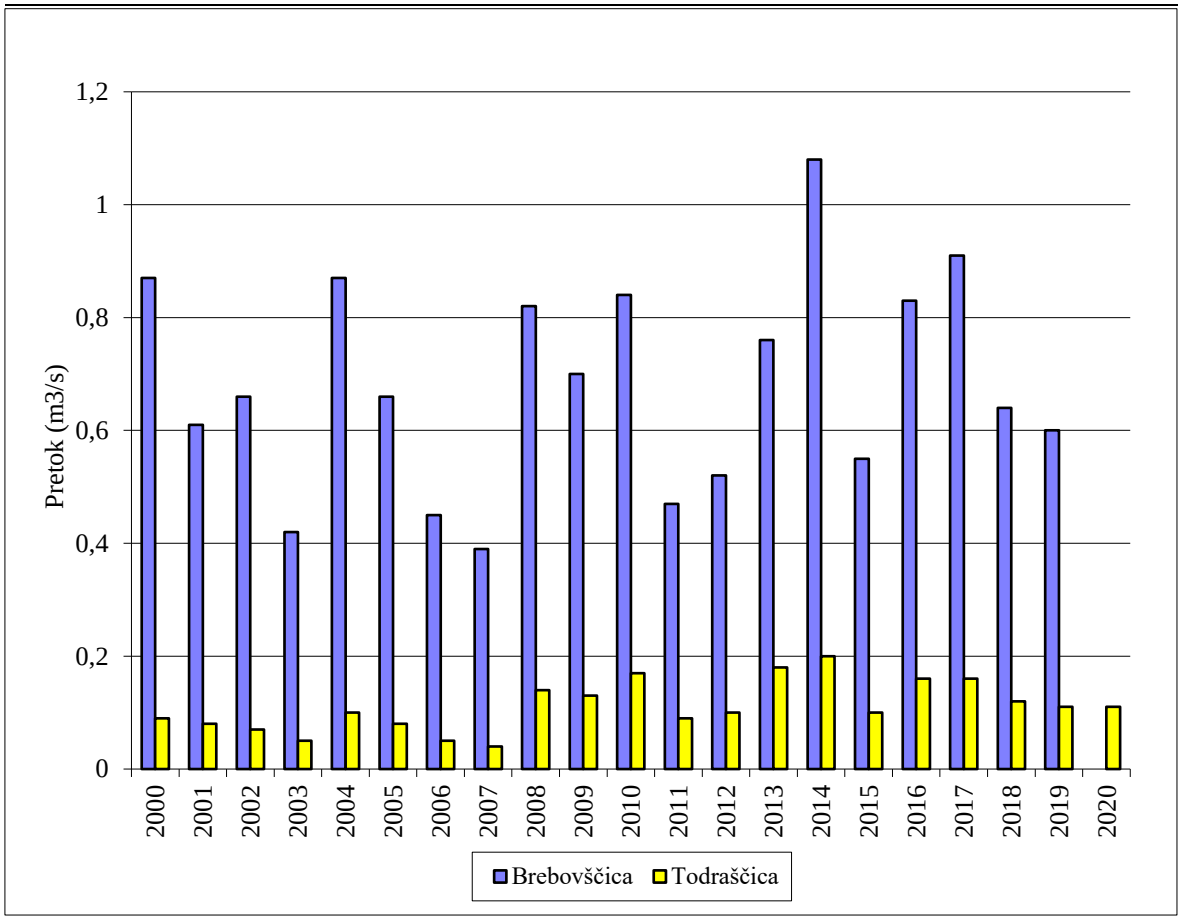
Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici so se z leti zmanjšale in so po letu 2009 pod 5 Bq/m^3. Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih Jazbec in Boršt so se izpusti Ra-226 zmanjšali in ustalili na letni ravni okoli 35-40 MBq. Po končanih zapiralnih delih na odlagališču Boršt,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

Koncentracije Pb-210 v Todraščici PO so po 2014 nekajkrat višje od koncentracij v obdobju po letu 2001, ko so bile večinoma pod 5 Bq/m^3 (Slika 7). Še višje pa so v 2016, ko so posledica predvsem zelo visokih vrednosti izmerjenih v 1. kvartalu. Razlage za povečanje koncentracij Pb-210 v Todraščici 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 8). V 2019 in 2020 je bila izmerjena povprečna koncentracija Pb-210 v Todraščici 8,7 ± 0,7 Bq/kg. Če upoštevamo, da so bile pred 20 leti koncentracije Ra-226 v vodi nekaj nad 30 Bq/kg, potem je izmerjena koncentracija Pb-210 v letu 2020 v okviru pričakovanj.



Slika 8: Povečevanje aktivnosti Pb-210 zaradi radioktivnega razpada Ra-226.

Predlagamo, da bi se Pb-210 spremljal v skupnih izpustih iz obeh odlagališč (mesečni vzorci), saj se zaradi radioaktivnega razpada aktivnosti Pb-210 zelo približajo aktivnostim Ra-226 in so le še za cca 2x nižje od aktivnosti Ra-226 na odlagališčih.



Slika 9: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

III.3 SEDIMENTI

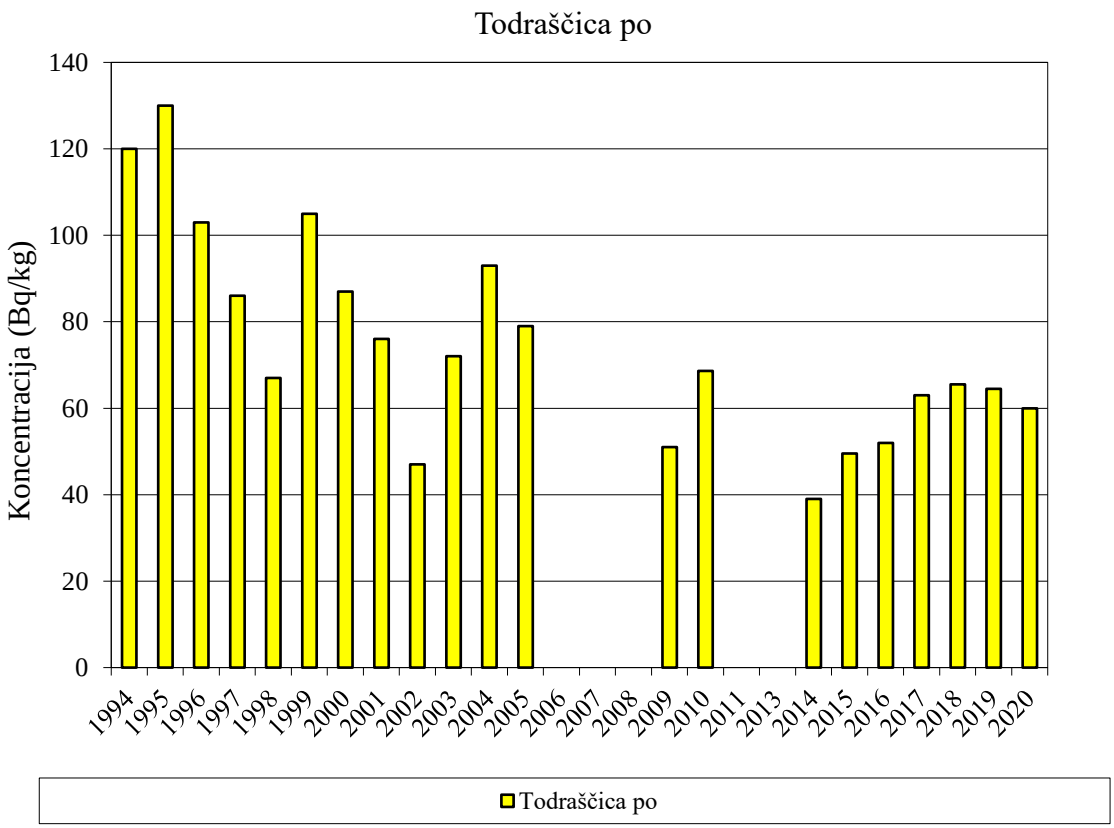
V tabeli (Tabela V.3.1) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v vzorcih sedimentov v Todraščici PO. Po programu za odlagališče Boršt so predvidene meritve polletnih zbirnih vzorcev v Todraščici PO in Zahodnem potoku Boršt. Izvedene so meritve v Todraščici PO, v Zahodnem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

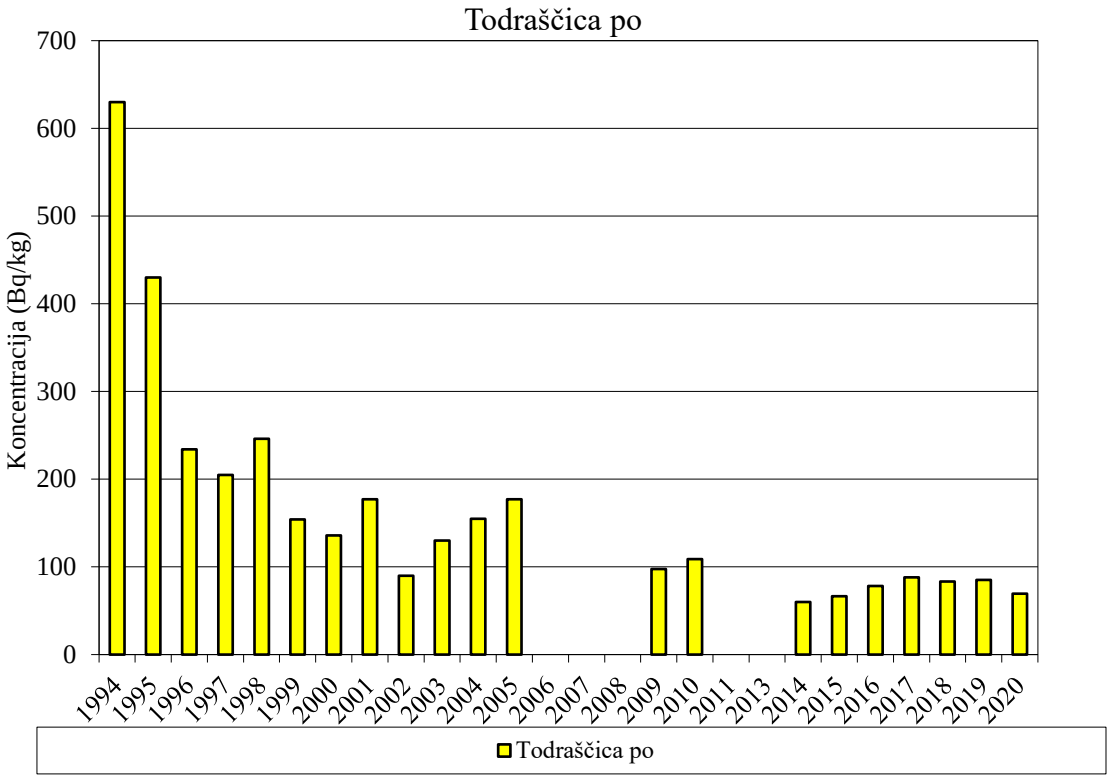
V tabeli (Tabela III-6) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 10, Slika 11 in Slika 12) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice PO.

Tabela III-6: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice po, Brebovščice po in Sore po med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

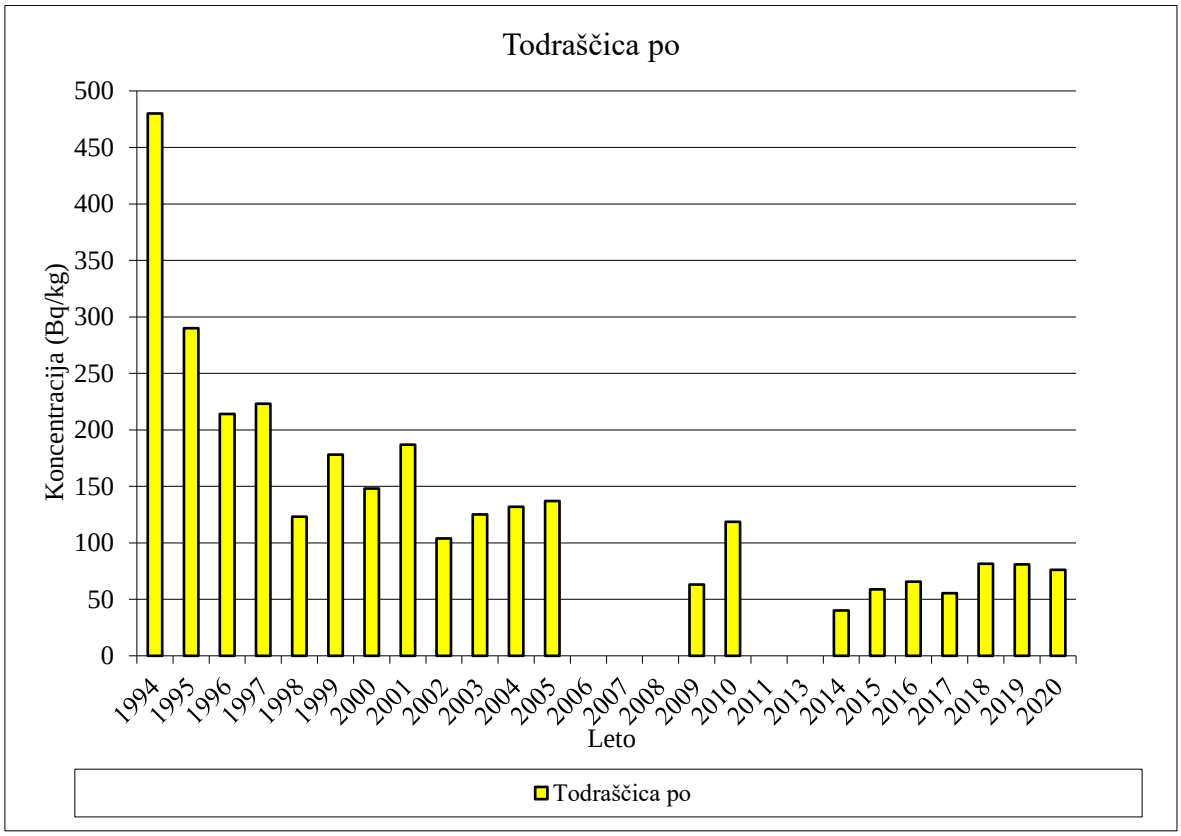
	U-238 (Bq/m^3)	Ra-226 (Bq/m^3)	Pb-210 (Bq/m^3)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



Slika 10: Koncentracija U-238 v sedimentih v Todraščici PO



Slika 11: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v Todraščici PO



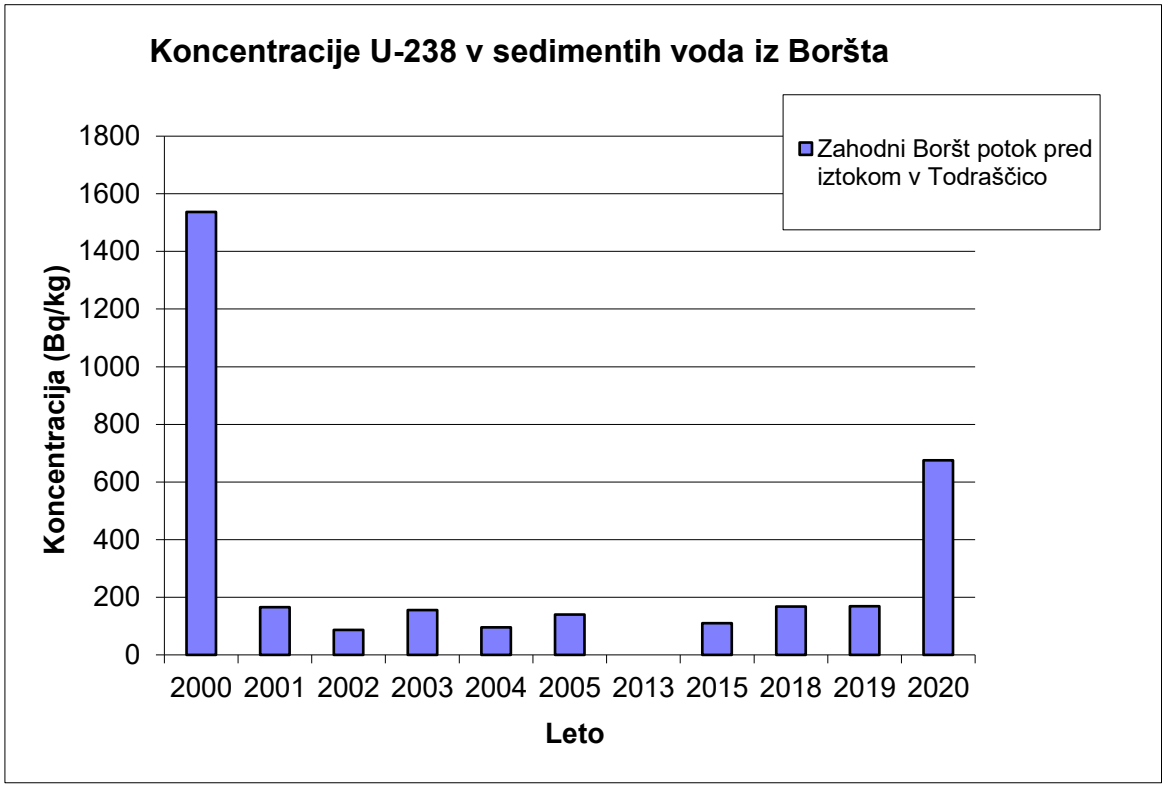
Slika 12: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v Todraščici PO

V sedimentih v Todraščici PO se koncentracije U-238 in Ra-226 v obdobju 2017-2020 približno konstantne in nekaj višje kot leta pred tem. Podoben trend bi lahko opazili pri Pb-210 vendar so tu meritve obremenjene z veliko negotovostjo, zato bi bil takšen zaključek prezgoden. 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.

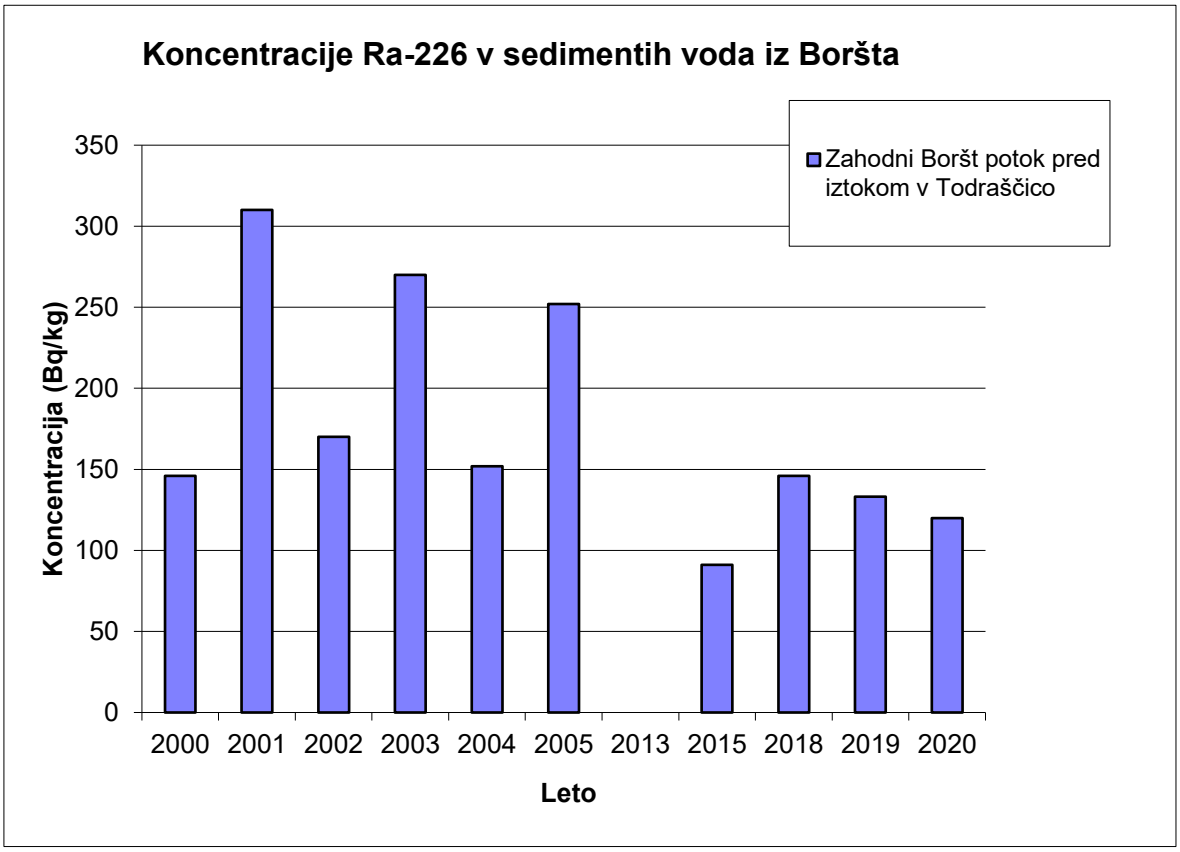
Vsekakor je potrebno spremljati koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodah, da se ugotavlja učinkovitost prekrivke oziroma zadrževanje radionuklidov v telesih odlagališč.

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 13, Slika 14). 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 13: Koncentracije U-238 v sedimentih iz Boršta



Slika 14: Koncentracije Ra-226 v sedimentih iz Boršta in Jazbeca

III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA

Meritve mleka in hrane se že od 2013 dalje ne izvajajo. Po programu nadzora bi se sicer morale izvajali meritve v vzorcu mleka in vzorcu sena/trave. 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 2018-2020 analizirana vzorec sena iz odlagališča Boršt in vzorec sena iz Gorenje Dobrave.

Koncentracije U-238 in Ra-226 so bile v 2018 višje v vzorcu iz Boršta, niso pa to zelo visoke vrednosti in so v okviru pričakovanj. V 2019 in 2020 pa celo ni razlike med vsebnostjo U-238 in Ra-226 v vzorcih iz Boršta in Gorenje Dobrave. Če primerjamo vrednosti iz leta 2016 in 2018-2020 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, v letu 2016 pa okoli 1 Bq/kg in 2018-2020 nekaj Bq/kg. Pb-210 je bilo v travi iz odlagališča Boršt v letu 2005 okoli 70 Bq/kg, v 2016 pa 40 Bq/kg, v 2018 47 Bq/kg, v 2019 in 2020 pa 33 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

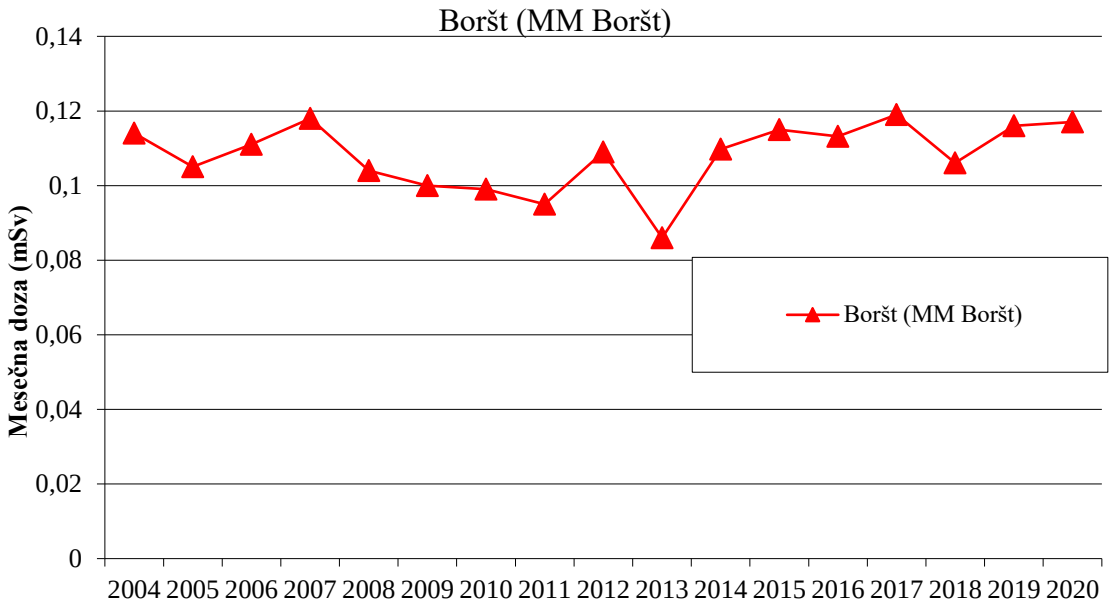
Meritve radioaktivnosti rib v Todraščici ali Brebovščici v programu meritev niso predvidene.

III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

V programu monitoringa za 2020 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. Rezultati so predstavljeni v tabeli (Tabela V.5.1).

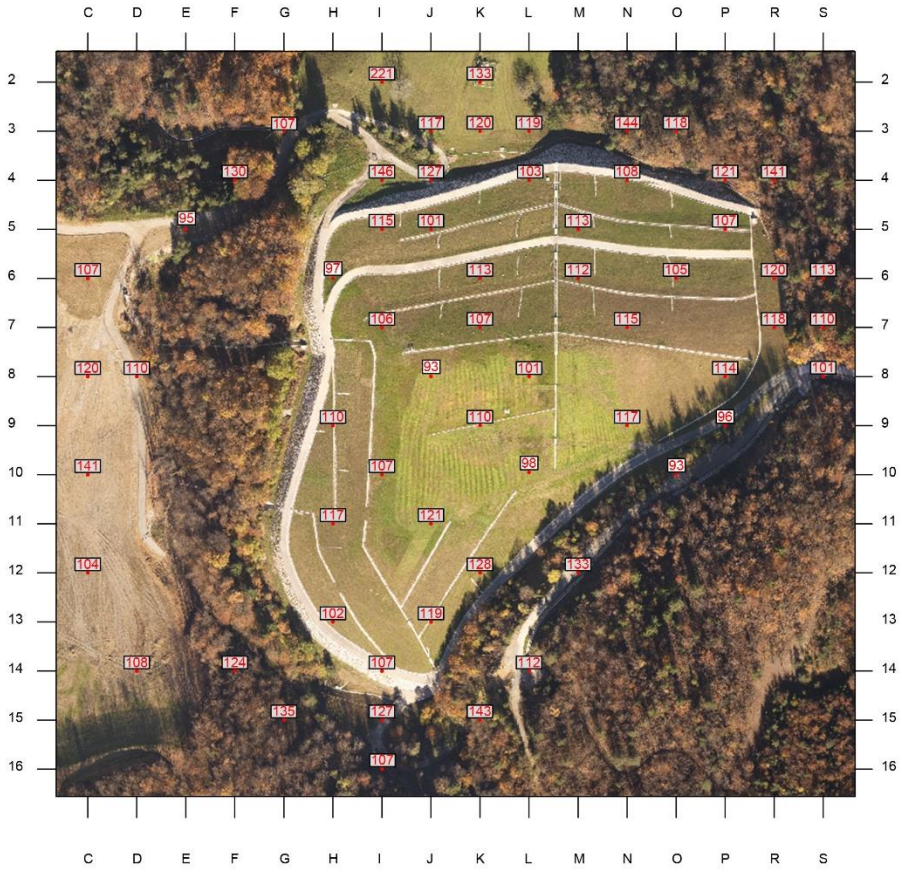
Do leta 2005 se je meritve mesečno izvajalo na 9 lokacijah v okolici RŽV. Po letu 2005 so meritve kvartalne na treh lokacijah, po 2019 pa je upravljaje odlagališč Boršt in Jazbec ločeno, ter izvajanje meritev odvisno od odločitve upravljalca odlagališča.
Pregled povprečnih mesečnih doz izmerjenih s TL dozimetri na odlagališču Boršt je na sliki (Slika 15). 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 15: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

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

Meritve absorbirane doze na odlagališču Boršt je v letu 2020 izvedel RŽV: Janez Čadež in Jože Rojc z merilnim instrumentom instrument Automes 6150 AD6/h ser. št.: 129288 s sondo AD/h-b ser. št.: 129537 dne 20.10.2020. Rezultati meritev so na sliki (Slika 16).



Slika 16: Meritve hitrosti doze zunanjega sevanja gama na površini odlagališča Boršt. Meritve sta izvedla J. Čadež in J. Rojc iz RŽV, d.o.o.

Iz meritev hitrosti doze na odlagališču Boršt izhaja, da odlagališče ne prispeva k povečanju doze zunanjega sevanja v okolici 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], a Uredba o spremembi uredbe o nacionalnem radonskem programu določa da se do 2023 še uporablja dozna konverzija iz ICRP 65 [23].

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 2020 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 merski podatek za izračun smo upoštevali vrednost dodatne koncentracije Rn-222, ki ga povzroča odlagališče Boršt v dolini Brebovščice 0,1 Bq/m^3.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222, ki ga v dolini Brebovščice povzroča odlagališče Boršt, v letu 2020 je:

E = 0,05 ± 0,02 µSv za odraslega prebivalca,
E = 0,04 ± 0,01 µSv za otroka starega 10 let,
E = 0,014 ± 0,004 µSv za otroka starega 1 leto.

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]*.

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 6,2-9,3 Bq/m^3.

V letu 2020 smo upoštevali, da odlagališče Boršt k povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice prispeva 0,1 Bq/m^3 in da je ocena negotova na 30% s faktorjem pokritja k=2.

Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev zaradi prispevka odlgališča Boršt je bila v letu 2020:

E = 2,1 ± 0,6 µSv za odraslega prebivalca,
E = 2,0± 0,6 µSv za otroka starega 10 let,
E = 2,3 ± 0,7 µSv za otroka starega 1 leto.

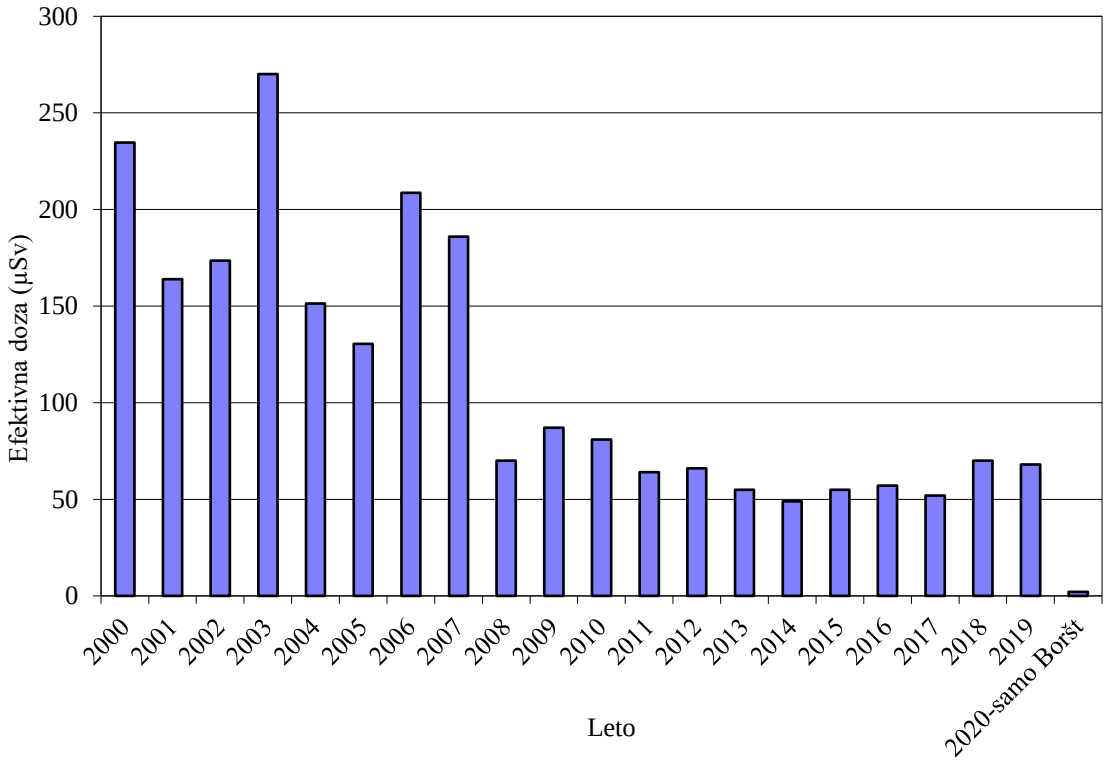
Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2020 prejeli dozo 2,5 ± 0,7 µSv. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje, so manj obremenjeni in so prejeli dozo 1,8 ± 0,5 µSv. Negotovosti ocene doz so podane s faktorjem pokritja k=2.

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev iz odlagališča Boršt so nizke, pravzaprav nepomembne.

Največji delež k celotni dozi zaradi rudnika Žirovski vrh 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 17), po letu 2008 pa je prispevek k dozi, nekajkrat manjši in znaša med 0,05 mSv in 0,08 mSv. Ob metodologiji, ki jo uporabljamo za oceno doze zaradi inhalacije radona in potomcev od 2010 dalje [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 okoli 0,1 mSv, oziroma bi bil prispevek k povečanju koncentracije radona manjši od 5 Bq/m^3.

Najbolj so obremenjeni prebivalci, ki žive v dolinskem področju 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.

V poročilu za 2020 prvič ocenjujemo dozo le zaradi prispevka radona iz odlagališča Boršt. Doza je nepomembna.



Slika 17: 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 2020 meritev vzorcev hrane ni bilo izvedenih in doze ne ocenjujemo.

IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda

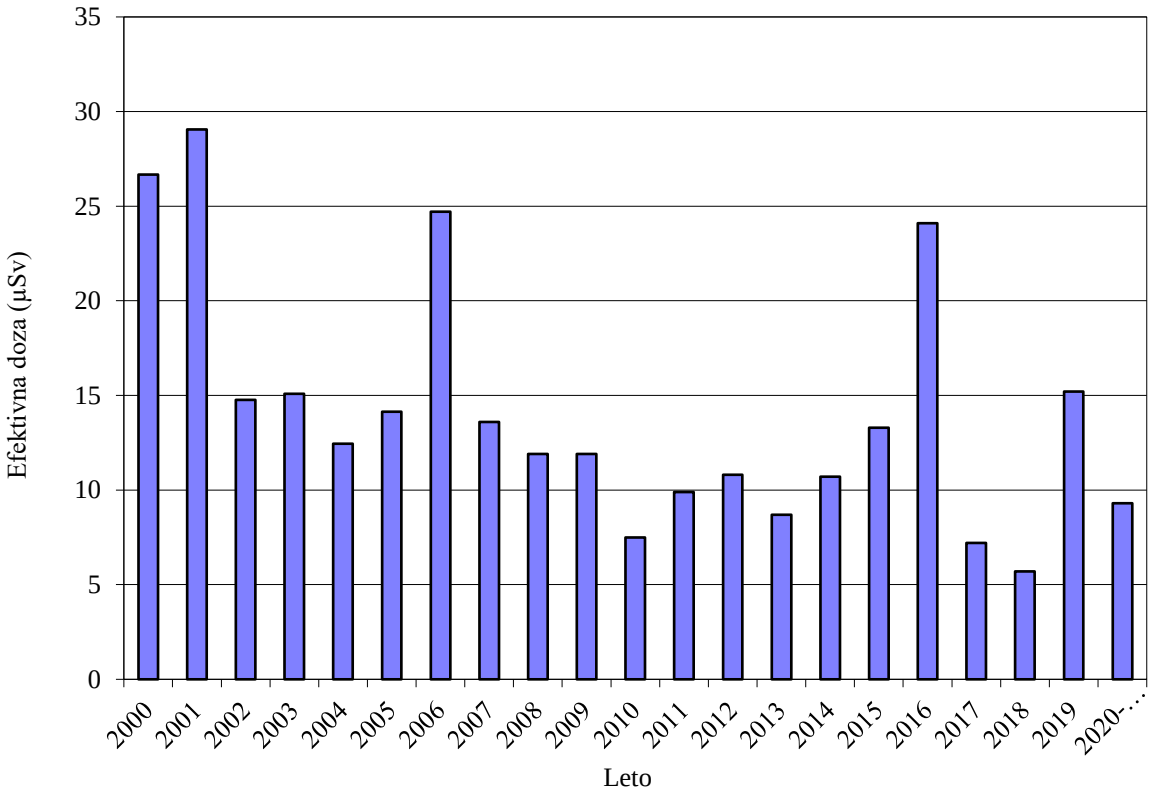
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode iz Todraščice kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, iz razlike koncentracije na merilnih mestih TODRAŠČICA PO in TODRAŠČICA PO za enkratni vzorec. Uporabili smo rezultate meritev za enkratni vzorec, ker so le za ta vzorec določene koncentracije vseh naravnih radionuklidov, ki prispevajo k dozi (U-238, Ra-226, Th-230, Pb-210, Po-210). Izračunan doza znaša:

$E_{(ingestija,\ voda,\ odrasli)}$ = 9,3 ± 1,4 µSv za odraslega prebivalca,

$E_{(ingestija,\ voda,\ otroci\ 10\ let)}$ = 13,3 ± 1,9 µSv za otroke stare 10 let,

$E_{(ingestija,\ voda,\ otroci\ 1\ leto)}$ = 14,0 ± 2,0 µSv za otroke stare 1 leto,

Izračunana letna efektivna doza zaradi pitja vode zaradi pitja Todraščice je podobna kot zaradi pitja Brebovščice (Slika 18. 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. 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 [31].



Slika 18: Letne efektivne doze zaradi pitja vode za odraslega prebivalca iz okolice RŽV. Do leta 2019 so ocenjeni prispevki zaradi pitja Brebovščice, za 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 2020 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 $nGyh^{-1}/Bqm^{-3}$, na prostem pa 0,25 $nGyh^{-1}/Bqm^{-3}$. 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 ± 0,07 µSv.

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

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč

V letu 2015 je pooblaščeni izvedenec varstva pred sevanji nazadnje izvajal meritve zunanjega gama sevanja v okolici odlagališča Boršt. Povišanih hitrosti doze nismo izmerili. Nadzor v preteklih letih [2] je pokazal, da odlagališča ne prispevajo 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 µSv.

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 2020. 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 ± 0,02 2,1 ± 0,6	0,0 0,04 ± 0,01 2,0 ± 0,6	0,0 0,014 ± 0,004 2,3 ± 0,7
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi - ribe (Ra-226, Pb-210) - kmetijski pridelki – mleko (Ra-226, Pb-210)	(9,3) - -	(13,3) - -	(14,0) - -
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija) - γ sevanje dolgoživih radionuklidov - γ sevanje v okolici odlagališč	0,25 ± 0,07 0,0 0,0	0,25 ± 0,07 0,0 0,0	0,25 ± 0,07 0,0 0,0

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz odlagališča Boršt v 2020 je:

2,4 µSv ± 1,6 µSv za odraslega prebivalca

2,3 µSv ± 1,3 µSv za otroka starega 10 let

2,6 µSv ± 1,5 µSv za otroka starega 1 leto

(zaokroženo, prispevek vode 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 in 26/19)* je letna efektivna doza, ki jo sme prejeti posameznik iz prebivalstva, 1 mSv. Prispevek rudnika 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 približno 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 19). 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

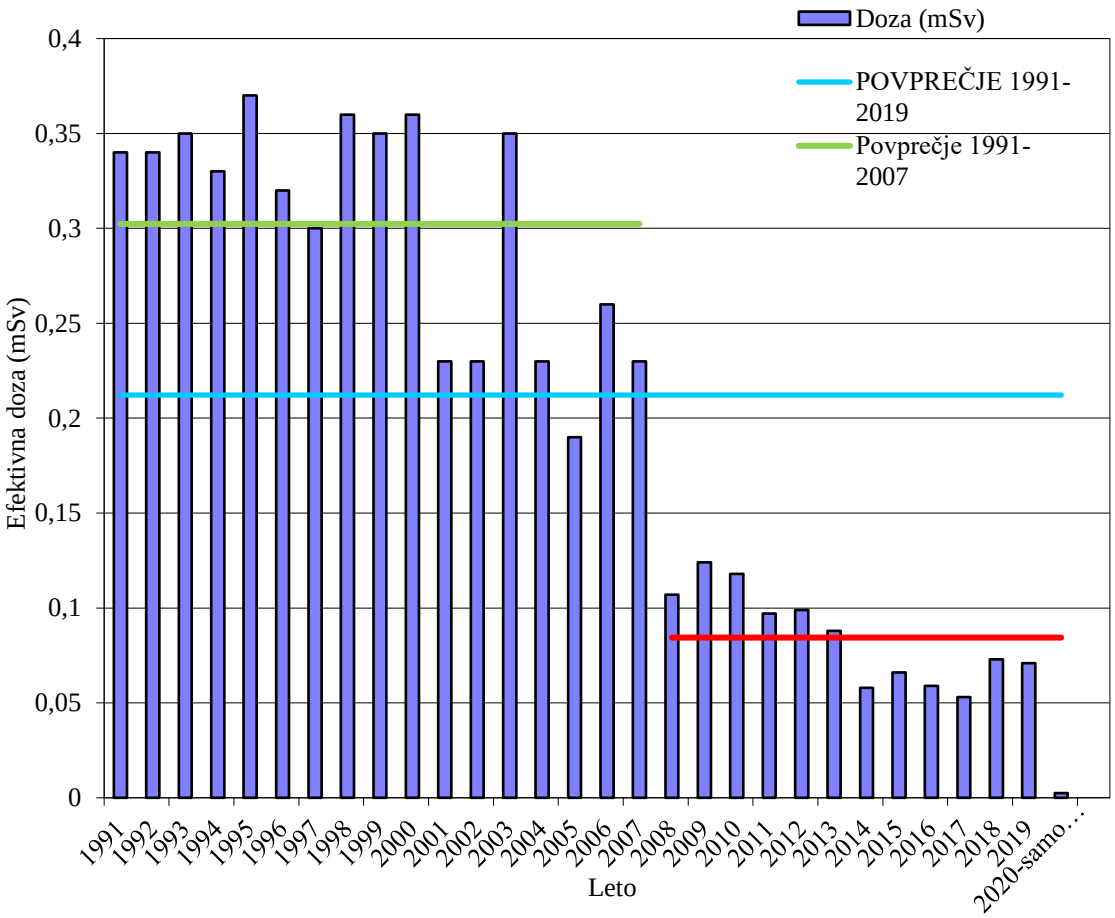
2014-2015 je v prispevku k oceni doze zaradi uživanja hrane upoštevano le mleko, niso pa upoštevan ostala živila, za katera ni rezultatov meritev po letu 2005. Po letu 2016 ne ocenjujemo več doze zauživanja hrane, saj merskih podatkov ni.

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 µSv.

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 µSv.

V letu 2020 smo ocenili le dozo zaradi prispevka odlagališča Boršt.



Slika 19: Skupne letne efektivne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV. Za leto 2020 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 v letih 1987-1989 so sodelavci IJS izdelali okvirno oceno o celokupni izpostavljenosti prebivalstva v dolini RŽV naravnemu sevanju. Upoštevali so vse glavne vire, ki jim je izpostavljeno prebivalstvo. Glede na izboljšanje bivalnega standarda prebivalstva v zadnjem desetletju, je najbrž sedanja vrednost nižja. Smiselno bi bilo naravno izpostavljenost ponovno oceniti in upoštevati novejšo metodologijo ocene doz ter bivalni standard prebivalstva.

Ocena je pokazala [32], da znaša povprečna izpostavljenost prebivalcev naravnim virom sevanja v okolju RŽV okoli 5,5 mSv na leto. To je dvakrat več od svetovnega povprečja. Doza zaradi vpliva odlagališča Boršt v letu 2020 je 0,0024 ± 0,0016 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 2020.

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), medtem ko se za odlagališče Boršt niso spremenile. Tudi za odlagališče Boršt bi bilo smiselno podati predlog za nove avtorizirane mejne vrednosti na Upravo RS za jedrsko varnost.

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

Parameter	Avtorizirane vrednost	Izmerjena ali izračunana vrednost v 2020
Dodatna letna efektivna ekvivalentna doza	0,3 mSv/leto	0,0024 mSv (le odlagališče Boršt)
Izhajanje radona iz površin odlagališča Boršt	< 0,7 Bq/m^2.s	0,048 Bq/m^2.s
Hitrost doze zunanjega sevanja na področju odlagališča Boršt	< 200 nGy/h	do 146 nGy/h na površini odlagališča Boršt
V skupnem iztoku izcednih voda odlagališča Boršt letna specifična aktivnost Ra-226 ne sme preseči vrednosti 60 Bq/m^3,	60 Bq/m^3	9,8 Bq/m^3 (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG)

Izcedne vode odlagališča Boršt, letna aktivnost Ra-226	50 MBq	3,10 MBq (Podatki RŽV, d.o.o. za BPG)

VI. ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV ODLAGALIŠČA BORŠT ZA LETO 2020

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 (20-30 Bq/m^3).

   K povečanju koncentracije radona v dolini Brebovščice prispeva radon iz odlagališč Jazbec in Boršt. Ocenjujemo, da oba objekta k povečanju koncentracije v Gorenji Dobravi prispevata okoli 5 % celotne koncentracije. Prispevek odlagališča Boršt k povečanju koncnetracije radona je nekajkrat manjši kot prispevek odlagališča Jazbec. Zelo konzervativno je ocenjen na 0,1 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. Po 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 Ra-226 in Pb-210 v Todraščici. Na odlagališčih se zaradi radioaktivnega razpada povečuje aktivnost Pb-210, ki se približuje polovici aktivnosti Ra-226. Zato je smiselno, da se v program nadzora tekočinskih emisij iz odlagališč vključi tudi Pb-210.

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.

V sedimentih v Todraščici PO je koncentracije Ra-226 po 2014 nekoliko narasla. Podoben trend bi lahko opazili pri Pb-210 vendar so tu meritve obremenjene z veliko negotovostjo, zato bi bil takšen zaključek prezgoden. 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 prehrambeni 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.

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 µSv.

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referenčne skupine prebivalcev zaradi vpliva odlagališča Boršt, smo v letu 2020 ocenili na 2,4 µSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 2,3 µSv in za otroke stare 1 leto 2,6 µSv. V 2020 smo prvič ocenili dozo le 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 okolici rudnika so ocenili sodelavci IJS v študiji v letih 1987 - 1990 na 5,5 mSv letno. Pri tem ni upoštevana černobilska kontaminacija in medicinska uporaba sevanja. Ocenjena vrednost je znatno višja od svetovnega povprečja (2,4 mSv), kar uvršča to področje med kritičnejša v Sloveniji.

VII. PREDLOGI

Predlagamo, da se določi nove avtorizirane vrednosti za odlagališče Boršt.

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. četrtletje 7.1.-1.4.20 Bq/m^3	Koncentracija 2. četrtletje 1.4.-1.7.20 Bq/m^3	Koncentracija 3. četrtletje 1.7.-1.10.20 Bq/m^3	Koncentracija 4. četrtletje 1.10.10-4.1.21 Bq/m^3	Koncentracija letno povprečje
Bačenski mlin	41 ± 6	29 ± 4	33 ± 5	29 ± 4	33 ± 5
Debelo Brdo	12 ± 2	< 10	< 10	38 ± 6	25 ± 8
*ZVD- Ljubljana**	*20 ± 3*	*14 ± 2*	*23 ± 3*	*53 ± 8*	28 ± 5

JALOVIŠČE BORŠT

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrtletje 7.1.-1.4.20 Bq/m^3	Koncentracija 2. četrtletje 1.4.-1.7.20 Bq/m^3	Koncentracija 3. četrtletje 1.7.-1.10.20 Bq/m^3	Koncentracija 4. četrtletje 1.10.10-4.1.21 Bq/m^3	Koncentracija letno povprečje Bq/m^3
Boršt, ovinek-most	27 ± 4	19 ± 3	30 ± 5	40 ± 6	29 ± 5
Boršt etaža	50 ± 8	12 ± 2	24 ± 4	39 ± 6	31 ± 5
MP Boršt (lokacija izven odlgališča)	29 ± 4	17 ± 3	29 ± 4	* izgubljen	25 ± 4
Kozolec Potokar	33 ± 5	16 ± 3	32 ± 5	51 ± 8	33 ± 6

* detektorja ni bilo na merilnem mestu

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 2020

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m3	Pretok (m^3/s)	Bq/m3	Pretok (m^3/s)
	Raztopljen		*Raztopljen*	
I. kvartal		0,58	36,8 ± 3,2	0,10
II. kvartal		0,57	40,0 ± 3,7	0,10
III. kvartal		0,32	54,7 ± 4,3	0,06
IV. kvartal		1,06	35,0 ± 2,9	0,19
Povprečje		0,63	42 ± 4	0,11

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

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 2020

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m3	Pretok (m^3/s)	Bq/m3	Pretok (m^3/s)
	Raztopljen		*Raztopljen*	
I. kvartal		0,58	1,9 ± 0,3	0,10
II. kvartal		0,57	1,9 ± 0,3	0,10
III. kvartal		0,32	2,4 ± 0,3	0,06
IV. kvartal		1,06	1,6 ± 0,2	0,19
Povprečje		0,63	2,0 ± 0,3	0,11

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 2020

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m^3)	Pretok (m^3/s)	Koncentracija (Bq/m^3)	Pretok (m^3/s)
I. kvartal		0,58	8,1 ± 0,7	0,10
II. kvartal		0,57	5,7 ± 0,6	0,10
III. kvartal		0,32	8,0 ± 0,8	0,06
IV. kvartal		1,06	5,7 ± 0,6	0,19
Povprečje		0,63	8,7 ± 0,7	0,11

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 2020

Datum odvzema vzorca: 01.04.2020

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

	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
Merilno mesto	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*
Todraščica pred			7,4 ± 0,7		
Todraščica po					

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Datum odvzema vzorca: 17.06.2020

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

	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
Merilno mesto	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*
Todraščica pred	2,6 ± 0,3	1,1 ± 0,2	6,0 ± 1,1		
Todraščica po					
Todraščica pred*	< 2,5				
Todraščica po*	33,5 ± 4,0				

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

* Meritve opravljene na EUROFINS ERICO SLOVENIJA

Datum odvzema vzorca: 02.09.2020

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

	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
Merilno mesto	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*
Todraščica pred	3,26 ± 0,3	1,9 ± 0,3	15 ± 1,2	7,2 ± 0,4	0,06 ± 0,02
Todraščica po	77,3 ± 4,3	2,7 ± 0,4	9,1 ± 1,3	1,4 ± 0,1	0,08 ± 0,03

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Datum odvzema vzorca: 02.09.2020

	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
Merilno mesto	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*
Brebovščica pred	2,2 ± 0,2				
Brebovščica po	144,4 ± 8,8				
Brebovščica, MM Gorenja Dobrava	96,2 ± 6		6,3 ± 0,8		

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Tabela V.2.6 Koncentracija raztopljenih U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih vod v letu 2020 iz odlagališča Boršt

Datum odvzema vzorca: 02.09.2020

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

	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
Merilno mesto	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*	*Raztopljen*
Boršt, BPG	764 ± 42	18,4 ± 1,6	4,9 ± 0,8	9,2 ± 0,6	0,13 ± 0,04

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Lokacija: Todraščica po

Tabela V.3.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Todraščice PO v letu 2020

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

1. poletje: Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 6.1.2020-1.7.2020

2. poletje: Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 1.7.2020-4.1.2021

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	6.1.2020-1.7.2020			1.7.2020-4.1.2021		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	62	±	4	58	±	4
Ra-226	78	±	7	61	±	7
Pb-210	72	±	4	80	±	6
Th-230	66	±	10	24	±	30

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

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 2020

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	4.05.2020			2.09.2020		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	1220	±	7	130	±	9
Ra-226	120	±	10	120	±	10
Pb-210	110	±	6	40	±	50
Th-230	110	±	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 2020.

Meritve so bile izvedene v okviru programa meritev radioaktivnosti krme, ki ga je financiralo ministrstvo za kmetijstvo, gozdrastvo in prehrano

Datum odvzema vzorca: 6.7.2020

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg suhega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt, seno	1,0 ± 0,3	1,5 ± 0,1	33,0 ± 3,0

Meritve izvedel ZVD

Datum odvzema vzorca: 30.06.2020

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Gorenja Dobrava	2,1 ± 0,5	1,4 ± 0,1	0,4 ± 0,4

Meritve izvedel ZVD

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 2020

Rezultati so podani v mSv

	1. polletje		**2 polletje**		**Letna doza**
	1. kvartal	**2.kvartal**	**3.kvartal**	**4. kvartal**	
MM Boršt	0,323	0,373	0,361	*izgubljen	1,057
Boršt etaža	0,331	0,359	0,372	0,355	1,417

* dozimetra ni bilo na merilnem mestu, ko smo pobirali dozimetre.

v letni dozi za MM Boršt je upoštevano le prvih 9 mesecev

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 $BaSO_4$ 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 ^{210}Pb and ^{210}Po 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 Dauhters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
[22] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, ICRP Pulblication 137, Ann. ICRP 46 (3/4), 2017, Pergamon Press, New York.
[23] Protection Against Radon-222 at Home and at Worh, 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 Memebers 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] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1989.
[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. Štrok, 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