



GREGOR OMAHEN

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH

POROČILO ZA LETO 2019

Gregor Omahen

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI
OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI
VRH**

POROČILO ZA LETO 2019



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

Center za fizikalne meritve, Laboratorij za specifične meritve aktivnosti radionuklidov

© 2020 ZVD d.o.o.

Poročilo vsebuje skupaj 94 strani ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti.
Izdal: ZVD zavod za varstvo pri delu d.o.o., Ljubljana, marec 2020

Slika na naslovnici: Prestavitev meteorološke postaje Boršt Gorenja vas na zgornji plato odlagališča © Hiacinta Klemenčič

Slika na zadnji strani: Izgradnja novih globokih piezometrov na širšem območju odlagališča Boršt v letu 2019 © Janez Čadež

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

Chengdujska cesta 25, 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
surana, d.o.o
Todraž 1, 4224 Gorenja vas

ARAO-Agencija za radioaktivne odpadke
Litostrojska cesta 58 A
1000 Ljubljana

Izvajalci meritev: ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.
Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana Polje

Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana

EUROFINS ERICo Velenje Inštitut za ekološke raziskave d.o.o.
Koroška cesta 58
3320 Velenje

Naročilnica številka: 129/4/20 z dne 14.02.2020 (RŽV)
N023/20220 z dne 02.03.2020 (ARAO)

Nosilec naloge: dr. Gregor Omahen

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh,
poročilo za leto 2019

Avtor poročila: dr. Gregor Omahen, univ.dipl.fiz.

Številka poročila: LMSAR-27/2020
Datum poročila: 30.03.2020

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
Štok, dr. Benjamin Zorko, dr. Marijan Nečemer, mag. Branko
Vodenik, Leja Rovar

Slika na naslovni strani: Odlagališče Boršt, foto Hiacinta Klemenčič

Kopije: Naročnik RŽV d.o.o (6 x)
Naročnik ARAO (3x)
Arhiv CFM (1x)
Nosilec naloge (1 x)

NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH,
POROČILO ZA LETO 2019**

Avtorji

dr. Gregor Omahen

KLJUČNE BESEDE:

Rudnik urana, zaprto odlagališče 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 2019 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi preteklih dejavnosti rudnika urana za odraslega prebivalca $0,071 \pm 0,021$ mSv, za otroka starega 10 let $0,067 \pm 0,019$ mSv in za otroka starega 1 leto $0,075 \pm 0,020$ mSv, kar predstavlja približno 8 % dovoljene letne doze za prebivalstvo.

REPORT TITLE:

**MEASUREMENTS OF THE RADIOACTIVITY IN THE ŽIROVSKI VRH URANIUM
MINE ENVIRONMENT, REPORT FOR THE YEAR 2019**

Authors:

Gregor Omahen, Ph.D

KEYWORDS

Uranium mine, 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 in the influence area of a closed uranium mine for adult inhabitant in the year 2019 was about $0,071 \pm 0,021$ mSv, for 10 years old child $0,067 \pm 0,019$ mSv and for 1 year old child $0,075 \pm 0,020$ mSv. This represents approximately 8 % 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.....	13
II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI.....	14
II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2019	14
II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT.....	21
II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR	24
II.4 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC (NADZOR OKOLJA)	25
II.5 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ IN EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR PO ZAPRTJU	26
III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2019	28
III.1 ZRAK.....	28
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210.....	28
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju	28
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov.....	39
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODZEMNA VODA.....	41
III.2.1 Vodotoki	41
III.2.2 Podzemna voda.....	49
III.3 SEDIMENTI	51
III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA	55
III.5 RIBE	56
III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	56
IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA	61
IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	61
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	61
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	62
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	62
IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....	64
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana	64

IV.2.2	Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda	64
IV.3	DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....	65
IV.3.1	Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	66
IV.3.2	Radon-222 in radonovi potomci.....	66
IV.3.3	Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč	66
IV.4	IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV	66
IV.5	IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV	69
V.	PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI Z AVTORIZIRANIMI VREDNOSTMI.....	69
VI.	ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV RUDNIKA URANA PO KONČANEM OBRATOVANJU NA OKOLJE V LETU 2019.....	76
VII.	PREDLOGI.....	80
VIII.	REZULTATI MERITEV	81

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 podtalnice), vodna biota (ribe), sedimenti, kmetijski pridelki in krma (seno) ter zemlja.

Prenehanje obratovanja rudnika v letu 1990 je zahtevalo določene spremembe v samem programu nadzora. Opuščene so bile trenutne meritve koncentracij radona v zraku v okolici rudnika, meritve specifičnih aktivnosti dolgoživih radionuklidov v bioindikatorjih (lišajih) in v Brebovščici pred izpusti iz rudnika. V programu se je upoštevalo, da so odlagališča tehnološke jalovine in jamske izkopenine v pripravljalni fazi pred dokončno sanacijo. Vsa ta izhodišča pri spreminjanju programa so bila potrjena na 4. seji Strokovne komisije za varstvo pred ionizirajočimi sevanji pri 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 zunanega 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, Poglavlje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju (št. 05-01-002, junij 2019)«. V skladu z odločbo in odobrenim Varnostnim poročilom za odlagališče rudarske jalovine Jazbec se je program nadzora radioaktivnosti spremenil in obseg zmanjšal. Agencija za radioaktivne odpadke je celo leto 2019 izvajala program nadzora radioaktivnosti po navedenem programu, čeprav odobrenem šele 24.9.2019.

V letu 2019 je bil predviden 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. Glede programa 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 odlagališčih Jazbec in Boršt sta v letu 2019 izvedla upravljalca posameznih objektov sama. Na odlagališču Boršt sta bili po programu izvedeni letna in zimska meritev, na odlagališču Jazbec pa v skladu s programom ena meritev. Meritve ekshalacije že od 2013 izvaja upravljalec objekta sam, torej ne v sodelovanju ali pod nadzorom pooblaščenice organizacije za izvajanje meritev radona.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2019 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Todraščice PO in Brebovščice PO. Meritev kvartalnih vzorcev v Brebovščici PO ni bilo izvedenih. V programu za leto 2019 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]).

V letu 2019 so bile v programu meritev tudi voda iz kanala Jazbec (^{238}U , ^{226}Ra), izcedne vode iz propusta odlagališča Jazbec (^{238}U , ^{226}Ra) ter podtalnica v telesu in v podlagi odlagališča (^{238}U). ARAO je v 2019 zagotovil vzorčenje in meritve podzemne vode na odlagališču Jazbec in v okolici odlagališča (vrtina BS30 in IZVIR-1).

Meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih v 2019 so bile izvedene v Todraščici PO in v sedimentih Zahodnega Boršt potoka (nadzor odlagališča Boršt), medtem ko v programu nadzora odlagališča Jazbec (Dopolnitev varnostnega poročila – odlagališče rudarske jalovine Jazbec rev. A-4, Poglavlje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju (št. 05-01-002, junij 2019)). niso bile predvidene.

V letu 2019 niso bile izvedene meritve radioaktivnosti v vzorcih rib in mleka, čeprav so bile zahtevane z dovoljenjem za izvajanje dolgoročnega nadzora in vzdrževanja odlagališča rudarske jalovine Jazbec, ki ga je izdala Uprava RS za jedrsko varnost, številka 3570-7/2015/s z dne 3.6.2015. Meritve vzorcev sena/trave so bile izvedene iz lokacij na Borštu in v Gorenji Dobravi, ne pa iz lokacije Jazbec. Dodatno je bil na Borštu vzet vzorec lišaja. Vzorca mleka v dolini Todraščice zaradi opuščene govedoreje ni bilo mogoče zagotoviti.

Nadzor zunanjega sevanja s pasivnimi dozimetri na odlagališču Jazbec je potekal na dveh lokacijah, na odlagališču Boršt pa prav tako na dveh. Vsak upravljalec je odlagališča je izvedel tudi meritve hitrosti doze na in v okolici odlagališč.

Program meritev v letu 2019 so izvajali Institut "Jožef Stefan", ZVD Zavod za varstvo pri delu in EUROFINs ERICo Velenje. ZVD je kot pooblaščenec izvedenec varstva pred sevanji ocenil vplive 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 2019 smo za določanje posameznih prenosnih poti uporabili iste mikrolokacije ter enake analize oziroma merilne metode kot v preteklih letih, seveda z upoštevanjem zmanjšane obsega programa. Pri metodologiji ocene doze smo upoštevali najnovejša priporočila stroke in veljavno zakonodajo. 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 2019 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 2019 ne razlikujejo od metod v preteklih letih. V nadaljevanju naštevamo le metode, ki so se uporabljale pri izvajanju nadzora v 2019.

I.1 Zrak

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

I.2 Vode

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 podtalnice 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/m³. Detektor smo umerili s standardnimi viri (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

Raztopljeni U-238 v tekočih vzorcih so v laboratoriju EUROFINS ERICo Velenje določali po metodi SIST EN ISO 17294-2:2005. Instrument je ICP-MS. Spodnja meja določanja je 0,1 mg U-238/m³, razširjena merilna negotovost 12,6 % (95 %, k=2). Metoda je bila pred uvedbo preizkušena s primerjalnimi meritvami enakih vzorcev v laboratorijih RŽV in IJS (RNAA) v letu 2006.

I.2.2 Raztopljeni Ra-226 v vodi smo določali z metodo radiokemijske separacije Ra-226 in meritve na spektrometru alfa [15]. Vzorcju vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytics, ZDA). Zatem smo dodali H₂SO₄ in sooborili Ba ter Ra v obliki PbSO₄. Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki

Ba(Ra)SO₄ z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline, Na₂SO₄ in BaSO₄. Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45 µm filter. Tako pripravljen vir za meritve smo zalepili na aluminijasto ploščico. Radiokemijski izkoristek smo določili z meritvami Ba-133 na spektrometru gama, aktivnost Ra-226 pa smo izmerili na spektrometru alfa. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m³. Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytix, 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 (Analytix, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO₂. Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa določili aktivnost Po-210. Pb-210 smo določili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [16]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Analytix, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2 Bq/m³ in za Po-210 0,03 Bq/m³. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.2.4 Th-230 smo določali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytix, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomočjo Fe(OH)₃, separirali z uporabo ekstrakcijskih smol (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF₃ in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m³. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.3 Sedimenti

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

I.3.1 U-238 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

I.3.2 Ra-226 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

I.3.3 Th-230 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

I.3.4 Pb -210 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

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

I.4 Zunanje sevanje gama

- I.4.1 Merjenje zunanjega sevanja gama opravljamo s termoluminiscentnimi dozimetri ali s prenosnim scintilacijskim merilnikom sevanja AUTOMES 6150 AD6, sonda 6150 AD-b s kristalom s plastičnim scintilatorjem. Termoluminiscentne detektorje in prenosni merilnik redno umerjamo v sekundarnih dozimetričnih laboratorijih. Izvajalec meritev ZVD ima metodi meritev akreditirani po standardu SIST ISO 17025.

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

- I.4.2 Zunanje sevanje gama merimo v neposredni okolici območja odlagališč jamske in hidrometalurške jalovine.

Identifikacijo merilnih mest v naravi so opravljali s pomočjo sistema LEICA GEOSYSTEMS GS20 (meritve na Borštu) in s pomočjo signala GPS in programskim paketom Routemonitoring (meritve na Jazbecu).

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 $\mu\text{Sv/h}$.

II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI

Program nadzora radioaktivnost se deli na program nadzora radioaktivnosti okolja (emisije) in program nadzora na odlagališčih Jazbec in Boršt (emisije)

II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2019

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. Vzorčevalna mesta z oznako * pripadajo nadzoru odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt. 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 mora izvajati dolgoročni nadzor in vzdrževanje 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**. Upravljalcu odlagališča Boršt Rudniku Žirovski vrh d.o.o. pa je Uprava za jedrsko varnost z elektronsko pošto z dne 18.5.2018 naložila izvajanje programa monitoringa za **peto leto prehodnega obdobja**.

V tabeli (Tabela II-1) podajamo program nadzora radioaktivnosti, ki je bil zahtevan za leto 2019, kjer navajamo tudi, če meritve niso bile izvedene. Meritve emisij, ki jih do potrditve spremembe programa dolgoročnega nadzora odlagališča Jazbec zahteva dovoljenje za izvajanje dolgoročnega nadzora zaradi pomanjkanja finančnih sredstev Agencije za radioaktivne odpadke v pretežni meri niso bile izvedene.

Tabela II-1: Program nadzora radioaktivnosti okolja na odlagališčih Jazbec in Boršt za leto 2019. Mesta označena z * pripadajo nadzora odlagališča Boršt.

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	Gorenja vas Dolenja Dobrava – ni izvedeno Gorenja Dobrava Todraž Pod transportnim trakom – ni izvedeno SV brežina odlagališča, zgoraj Brebovnica – ni izvedeno Bačenski mlin* Debelo Brdo* Referen. lokacija Ljubljana-Polje	zrak	kontinuirno vzorčevanje	kvartalno	4
1. ZRAK BIOINDIKATORJI					
1.3. U, Ra-226, Pb-210 VL gama spektrometrija	Jazbec, neposredna okolica Todraž/Gorenja Dobrava Referenčna točka (zunaj vplivnega območja rudnika) Ni izvedeno	lišaji, mahovi (sestavljene vzorec)	sezonsko, enkratno	sezonsko (jeseni)	1 1 1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2. VODE – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA					
2.1. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava – ni izvedeno	Voda	Dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4

3.-5. leto kvartalno	Todraščica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvaratalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Brebovščica pred Gorenja Dobrava Todraščica pred* Todraščica po* Poljanska Sora pred Poljanska Sora po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1 1 1 1
2.2. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava – ni izvedeno	Voda	Dnevno, kontinuirno	kvaratalno, kompozitum	4
3.-5. leto kvartalno	Todraščica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvaratalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Brebovščica pred Gorenja Dobrava Todraščica pred* Todraščica po* Poljanska Sora pred – ni izvedeno Poljanska Sora po – ni izvedeno	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	Gorenja Dobrava – ni izvedeno	Voda	Dnevno, kontinuirno	kvaratalno, kompozitum	4
	Todraščica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvaratalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Brebovščica pred – ni izvedeno Gorenja Dobrava – ni izvedeno Todraščica pred* Todraščica po* Poljanska Sora pred – ni izvedeno Poljanska Sora po – ni izvedeno	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1 1 1
2.4. Po-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza enkratni odvzem	Gorenja Dobrava – ni izvedeno	Voda	Dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4
	Gorenja Dobrava – ni izvedeno Todraščica po* Poljanska Sora po – ni izvedeno	Voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)	5. leto	1 1 1
2.5. Th-230 raztopljen, specifična radiokemijska analiza enkratni odvzem	Gorenja Dobrava – ni izvedeno Todraščica po* Poljanska Sora po – ni izvedeno	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
2. VODE – PODTALNICA					
2.6. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Drkota (izvir presahnil) Mrzlek	voda	letno	letno	1
					1
					1
2.7. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Drkota (izvir presahnil) Mrzlek	voda	letno	letno	1
					1
					1
2.8. Pb-210 raztopljen specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 – ni izvedeno Drkota (izvir presahnil) Mrzlek – ni izvedeno	voda	letno	letno	1
					1
					1
3. SEDIMENTI – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA					

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
3.1. U – specifična VL gama spektrometrija	Gorenja Dobrava – ni izvedeno Todraščica po* Poljanska Sora po – ni izvedeno Jazbec (odvodni kanal) – ni izvedeno Zahodni Boršt potok	sediment	kontinuirno polletno vzorčenje polletni, enkratno vzorčenje	polletno letno 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	Brebovščica (Gorenja Dobrava) Poljanska Sora po (Žabja vas) Selška Sora (referenčna točka) Ni izvedeno	ribe	1 krat letno	1 krat letno, Jeseni 5. leto	1 1 1
4.2. Pb-210 VL gama spektrometrija	Brebovščica (Gorenja Dobrava) Poljanska Sora po (Žabja vas) Selška Sora (referenčna točka) Ni izvedeno	ribe	1 krat letno	1 krat letno, jeseni 5. leto	1 1 1
5. HRANA – PRIDELKI, KRMA					

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
5.1. Ra-226, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Potokar* Jazbec, neposredna okolica - ni izvedeno Todraž/Gorenja Dobrava Referenčno mesto	mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko 3. in 5. leto	3 6
5.2. Pb-210, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Potokar* Odlagališče Jazbec (okolica) – ni izvedeno Gorenja Dobrava Referenčno mesto	mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko 3. in 5. leto	3 6
6. ZUNANJE SEVANJE GAMA					
6.1. Zunanje okolje TLD	SV brežina odlagališča, zgoraj - namesto kvartalnih izvedene le polletne meritve S brežina odlagališča Boršt, zgoraj* Todraž – ni izvedeno	zunanje sevanje	kontinuirno	kvartalno, 1. do 5. leto	4
6.2. Neposredna okolica odlagališč, posamezne merilne točke prospekcija, merilni instrument	Odlagališče Jazbec – okolica 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 odlagališč 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)	četrletno 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 Naj bi 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 Naj bi izvedel RŽV	zrak	kontinuirno črpanje zraka	vsako uro 1. - 5. leto	vsako uro
²²² Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa	drenažni tunel Naj bi 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 ogljenimi 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	12
				1. – 5. leto	12
					4
					12
					12
					12
Ca, Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ , standardne metode (kem. parametri)	Todraž PO	voda	dnevno, mesečni sestavljeni vzorec	mesečno,	12
				1. – 5. leto	
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	2
				3. – 5. leto	2
²³⁸ U, ²²⁶ Ra, ²¹⁰ Pb, ²¹⁰ Po (raztopljeni), specifična radiokemijska analiza	SDIJ ali BPG	voda	občasno, enkrat letno	letno	1
				1. – 5. leto povprečni pretok	

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	četrletno 1. – 5. leto	4

II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR

Program dolgoročnega monitoringa emisij iz odlagališča Jazbec 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 tabeli 14-9 na strani 14-87/107.

Tabela II-3: Program nadzora emisij iz odlagališčih Jazbec za leto 2019.

Kontrola	Pogostost	Meritve in analize
Iztok izcednih voda iz propusta	1 x letno	pretok, T vode, pH, el. prevodnost, KPK _b , ²³⁸ U, ²²⁶ Ra, ²³⁰ Th, ²¹⁰ Pb, ²¹⁰ Po, SO ₄ ²⁻ , raztopljene snovi
Tekoči izpust iz odlagališča Jazbec MM Kanal Jazbec	1 x letno	²³⁸ U, ²²⁶ Ra
Podzemna voda v telesu in v podlagi odlagališča, piezometri BS-6, Pz-JA-1, Pz-JA-2, Pz-JA-3, Pz-JA-4 Dotok zaledne vode, izvir 1 rdeča barva: ²³⁸ U ni izvedeno (vrtina BS-6 ni bila prehodna) zelena barva: ²³⁸ U izvedeno	1 x letno	v piezometru: nivo podzemne vode, T vode, pH, el. prevodnost v laboratoriju: ²³⁸ U, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , K, Na, raztopljene snovi
Podzemna voda v piezometrih na zunanjem robu odlagališča, piezometri BS-25, BS-27, BS-28, BS-29 rdeča barva: ²³⁸ U ni izvedeno (vrtina BS-28 je bila suha, vrtina B-25 je deformirana) zelena barva: ²³⁸ U izvedeno	1 x letno	v piezometru: nivo podzemne vode, T vode, pH, el. prevodnost v laboratoriju: ²³⁸ U, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , K, Na, raztopljene snovi
Koncentracija radona, merilno mesto SV brežina odlagališča, zgoraj	2 x letno	detektor sledi (IV-IX, X-III), v kolikor to ni mogoče kvartalno (I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII)
Koncentracija radona, emisija, MP Jazbec	2 x letno	detektor sledi (meseci IV-IX, X-III), v kolikor to ni mogoče četrletno (I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII)
Ekshalacija ²²² Rn na prekrivki: 2 x zgornja etaža, 5 x brežine	1 x letno	ogljeni filtri, 48 ur ali aktivna meritev z instrumentom in merilnim zabojem za radon, 4 ure/merilno mesto
Zunanje sevanje (gama), SV brežina odlagališča, zgoraj površina odlagališča (20 merilnih točk) in zunanji rob (10 merilnih točk)	2 x letno 1 x letno	TLD merilni instrument
Geodetska opazovanja, 32 kontrolnih točk	na 3 leta	geodetska oprema, satelitska navigacija
Opazovanje stabilnosti brežin, Inklinometra INC-JA1, INC-JA2, ni izvedeno	1 x letno	merilni instrument

II.4 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI IMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC (nadzor okolja)

Program, ki se izvaja po zaključku prehodnega petletnega obdobja, je določen v dokumentu »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 tabeli 14-11 na strani 14-94/107.

Kontrola	Pogostost	Meritve in analize
MP Gorenja Dobrava	1 x letno	meritev ali ocena pretoka, ^{238}U , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po
Dolenja Dobrava, Mrzlek	1 x letno	ocena pretoka, raztopljene snovi, ^{238}U , ^{226}Ra
Piezometer BS-30	1 x letno	v piezometru: nivo podzemne vode, T vode, pH, el. prevodnost, v laboratoriju: ^{238}U , ^{226}Ra , SO_4^{2-} , raztopljene snovi
Dolina Brebovšiče Todraž, Gorenja Dobrava Dolina Poljanske Sore, Gorenja vas ali Srednja vas	2 x letno oz. 4 x letno	detektor sledi (meseci IV-IX, X-III), v kolikor to ni mogoče četrletno (I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII))

II.5 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI IMISIJ IN EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR PO ZAPRTJU

Dne 24.9.2019 je Uprava RS za jedrsko varnost z odločbo št. 3570-2/2019/9 odobrila spremembo Varnostnega poročila odlagališča rudarske jalovine Jazbec in s tem spremembo programa dolgoročnega nadzora po zaprtju odlagališča. Program nadzora navajamo v tabelah (Tabela II-4, Tabela II-5) in je iz dokumenta Dopolnitev varnostnega poročila - odlagališče rudarske jalovine Jazbec, rev. A-4, Poglavje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju, Tabeli 13 in 14 na straneh 14A-45/63 in 14A-46/63.

Tabela II-4: Obseg monitoringa za odlagališče rudarske jalovine Jazbec v obdobju dolgoročnega nadzora odlagališča Jazbec

MERJENA KOLIČINA	METODA	MERILNA MESTA	POGOSTOST
Zračna prenosna pot			
²²² Rn ekshalacija na površini odlagališča [Bq/m ² s]	Merjenje naraščanja koncentracije ²²² Rn v tesno zaprtem prostoru nad površino, merilni instrument AlphaGuard	zgornji plato odlagališča (1 točka brežina (4 točke)	1x/leto
²²² Rn koncentracija v zraku [Bq/m ³]	Detektor sledi (vsaj 2 detektorja/merilno mesto)	MP Jazbec, MM SV brežina	Menjava na 6 mesecev
Zunanje sevanje gama			
Hitrost doze zunanjega sevanja gama – dozno polje [nSvh]	prenosni merilnik hitrosti doze	celotna površina znotraj ograje odlagališča in vzdolž celotne ograje na zunanji strani	1x/leto
Letna doza [mSv/leto]	TL dozimeter	MP Jazbec MM SV brežina	Menjava na 6 mesecev
Vodna prenosna pot			
²³⁸ U – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³] (v obliki U ₃ O ₈ v vodi)	Masna spektrometrija z induktivno sklopljeno plazmo (ICP/MS) Preračun iz µg/l v Bq/m ³	MM Jazbec, MM kanal Jazbec JV-P-10 PZ-Ja-1, PZ-Ja-2, PZ-Ja-3, PZ-Ja-4, BS-27 Izvir I	1x/leto
²²⁶ Ra – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³]	Radiokemijska separacija – spektrometrija alfa	MM Jazbec, MM kanal Jazbec JV-P-10 PZ-Ja-1, PZ-Ja-2, PZ-Ja-3, PZ-Ja-4, BS-27	1x/leto

		Izvir I	
²³⁰ Th – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³]	Radiokemijska separacija – spektrometrija alfa	MM Jazbec JV-P-10	1x/leto
²¹⁰ Pb – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³]	Radiokemijska separacija – spektrometrija alfa	MM Jazbec JV-P-10	1x/leto
Fizikalno-kemijski parametri: pH električna prevodnost skupne raztopljene snovi (TDS) skupne neraztopljene snovi (TSS)	Standardne laboratorijske metode za posamezne parametre	MM Jazbec MM kanal Jazbec JV-P-10 Izvir I PZ-Ja-1, PZ-Ja-2, PZ-Ja-3, PZ-Ja-4, BS-27	1x/leto
pretok vode	merilnik pretokov	MM Jazbec JV-P-10 Izvir I (ocena pretoka)	1x/leto
nivo vode v piezometru	merilnik nivoja	PZ-Ja-1, PZ-Ja-2, PZ-Ja-3, PZ-Ja-4, BS-27	1x/leto

Tabela II-5: Monitoringa radioaktivnosti v okolju v vplivnem območju odlagališča rudarske jalovine Jazbec

MERJENA KOLIČINA	METODA	MERILNA MESTA	POGOSTOST
Zračna prenosna pot			
²²² Rn koncentracija v zraku [Bq/m ³]	Detektor sledi (vsaj 2 detektorja/merilno mesto)	MM Gorenja Dobrava MM Gorenja vas	Menjava na 6 mesecev
Vodna prenosna pot			
²³⁸ U – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³] (v obliki U ₃ O ₈ v vodi)	Masna spektrometrija z induktivno sklopljeno plazmo (ICP/MS) Preračun iz µg/l v Bq/m ³	Brebovščica pred (iztokom JV-P-10 in kanala Jazbec) Brebovščica po (iztoku JV-P-10 in kanala Jazbec) MM Gorenja Dobrava BS-30	1x/leto
²²⁶ Ra – koncentracija aktivnosti [Bq/m ³]	Radiokemijska separacija – spektrometrija alfa	Brebovščica pred (iztokom JV-P-10 in kanala Jazbec) Brebovščica po (iztoku JV-P-10 in kanala Jazbec) MM Gorenja Dobrava BS-30	1x/leto

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV V OKOLJU V LETU 2019

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. ali ARAO ne izvajata 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]. V nadaljevanju zato le naštevamo izvedena dela.

Odlagališče Jazbec

- ✓ V obdobju 2000-2006 je bila v propust odlagališča Jazbec vgrajena zračna zadelka.
- ✓ V letu 2008 so bila v propustu odlagališča Jazbec vgrajena kovinska vrata s sifonom za odvod izcednih voda iz propusta v kanal Jazbec.
- ✓ V 2000 so odstranili nasutje jamske jalovine z neprekritih površin platoja P-10, kar ima od leta 2000 dalje za posledico manjše prispevke radona v okolje iz teh površin.
- ✓ V letu 2003 je bila nazaj v jamo odpeljana uranova ruda, ki se je nahajala na platuju nad nekdanjo drobilnico.
- ✓ V letu 2007 sta bili preoblikovani JZ brežina in zgornja etaža odlagališča Jazbec, izdelovanje prekrivne plasti in zatravitev (60 % pokritje površine).
- ✓ V letu 2008 prekrito celotno odlagališče Jazbec. S tem se je ekshalacija radona na površini odlagališče iz vrednosti 0,5 – 1,0 Bq/m²s zmanjšala na nivo naravnega ozadja (okoli 0,03 Bq/m²s, povprečje vrednosti 2012-2018).

Povprečna vrednost ekshalacije radona po posameznih letih iz odlagališča Jazbec in Boršt za obdobje 2012-2019 je v tabeli (Tabela III-1). V letih 2013-2016 je meritve izvedel RŽV, d.o.o., od 2017 dalje pa za vsako odlagališče upravljalec objekta, torej za odlagališče Boršt RŽV, d.o.o. in za odlagališče Jazbec ARAO. V 2012 je meritve izvajala pooblaščen organizacija za meritve koncentracij radona. Že vsa leta od 2012 v poročilih predlagamo, da vsaj del meritev ekshalacije **naredita skupaj upravljalec objekta in pooblaščen**

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 pooblašene organizacije umerjen, metoda pa akreditirana po standardi 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 meritve (eno uro ali več dni) in ne nazadnje od lokacije meritev.

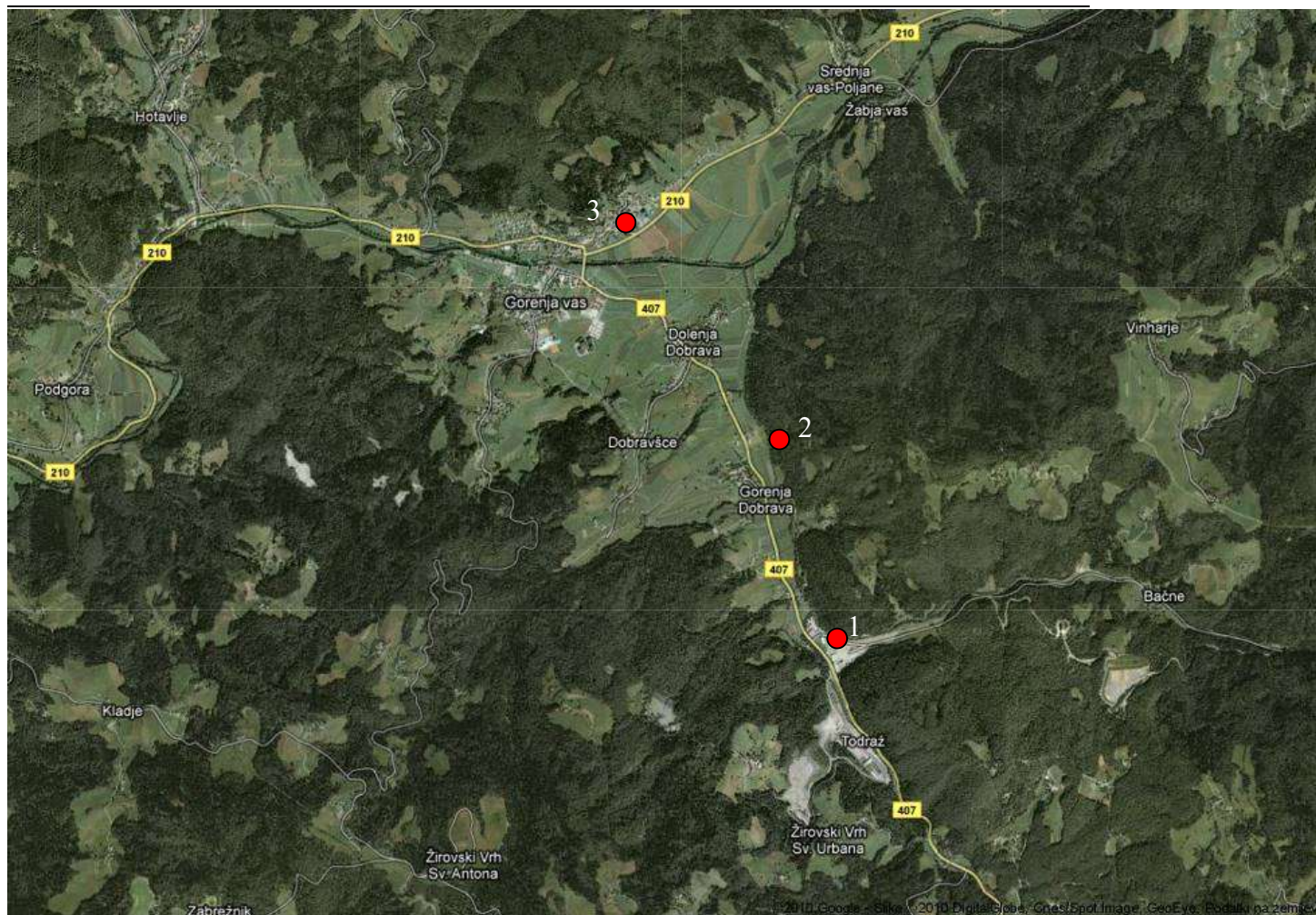
Tabela III-1: Povprečna ekshalacija radona na odlagališčih Jazbec in Boršt v letih 2012-20198 (Bq/m²s), izračunana iz meritev, ki so bile izvedene v različnih obdobjih leta. Meritve je izvajal upravljalec odlagališča sam (RŽV d.o.o. ali ARAO).

Leto	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Odlagališče Jazbec								
Zimsko obdobje	Ni v programu	Ni v programu	Ni v programu	Ni v programu	Ni v programu	Ni v programu	0,034	Ni izvedeno (razmočnost terena)
Letno obdobje	0,016 ± 0,004 Datum meritev: 12.9. in 14.10.2029	0,021 ± 0,008	0,019 ± 0,009	Ni izvedeno	0,063	0,022	0,028	0,025
Odlagališče Boršt								
Zimsko obdobje	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 (razmočnost terena)
Letno obdobje	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/m²s (povprečje vrednosti za obdobje 2012-2018)

Lokacije meritev koncentracije radona v dolini Brebovščice v letu 2019 z metodo detektorjev sledi so na sliki (Slika 1). Meritve se izvajajo le še na treh lokacijah in z njimi le še spremljamo vrednosti, ne pa več obnašanja oziroma modela razširjanja radona po dolini.



Slika 1: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v letu 2019 v dolini Brebovščice. Prikazano na zemljevidu Google maps., 1-MM Todraž, 2-MM Gorenja Dobra, 3-MM Gorenja vas.

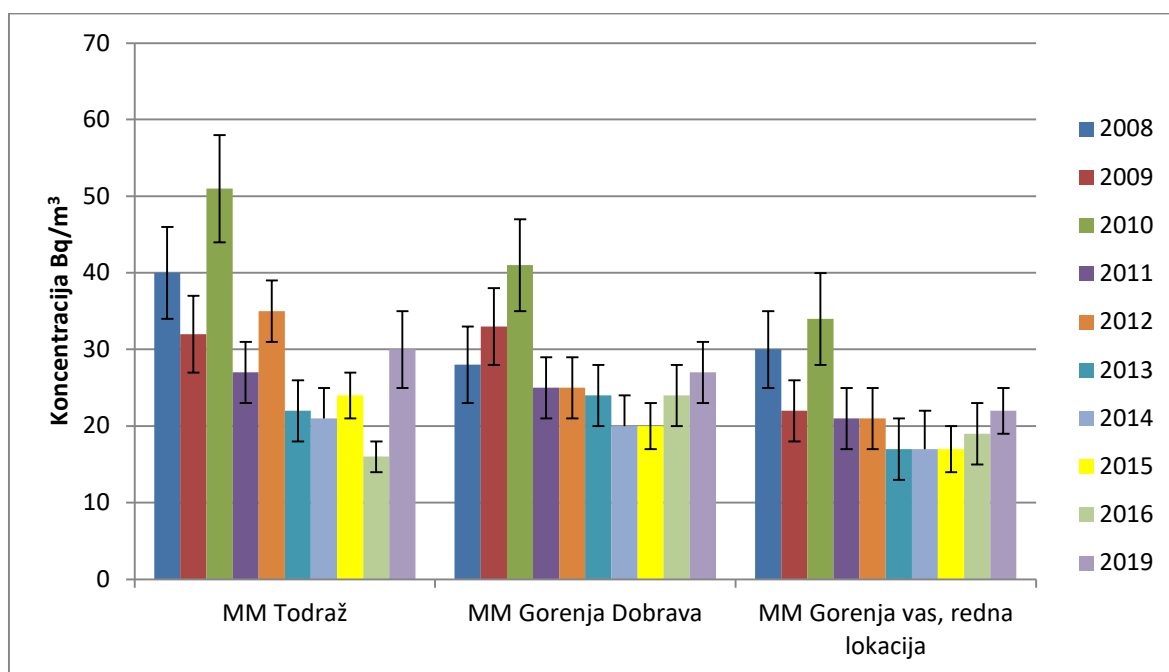
V tabeli (Tabela III-2) povzemamo povprečne vrednosti koncentracije radona v dolini Brebovščice, izmerjene z detektorji sledi, v letih 2008-2019.

Tabela III-2: Povprečne letne koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, v dolini Brebovščice v letih 2008-2019 (Bq/m³)

	Brebovnica	MM Todraž	MM Gorenja Dobrava	Dolenja Dobrava, redna lokacija	MM Gorenja vas, redna lokacija	Srednja vas	Ljubljana
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2019		30 ± 5	27 ± 4		22 ± 3		19 ± 3
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2018		Meritve niso izvedene	Meritve niso izvedene		Meritve niso izvedene		19 ± 3
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2017		Meritve niso izvedene	Meritve niso izvedene		Meritve niso izvedene		17 ± 5
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2016		16 ± 2	24 ± 4		19 ± 4		16 ± 4
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2015		24 ± 3	20 ± 3		17 ± 3		20 ± 3
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2014		21 ± 4	20 ± 4		17 ± 5		17 ± 3
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2013	24 ± 4	22 ± 4	24 ± 5	18 ± 4	17 ± 4	17 ± 4	17 ± 4
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2012	22 ± 4	35 ± 6	25 ± 4	21 ± 4	21 ± 4	21 ± 4	17 ± 4
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto	31 ± 5	27 ± 4	25 ± 4	23 ± 4	21 ± 4	23 ± 4	19 ± 4

2011							
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2010	31 ± 6	51 ± 7	41 ± 6	27 ± 5	34 ± 6	35 ± 5	33 ± 5
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2009	39 ± 5	32 ± 5	33 ± 5	26 ± 4	22 ± 4	22 ± 4	15 ± 3
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³) leto 2008	43 ± 6	40 ± 6	28 ± 5	27 ± 5	30 ± 5	25 ± 4	26 ± 5

Povprečne koncentracij radona v dolini Brebovšice za obdobje 2008-2019 so na sliki (Slika 2). Manjkajo podatki za leta 2016 – 2017, ker meritve niso bile izvedene.

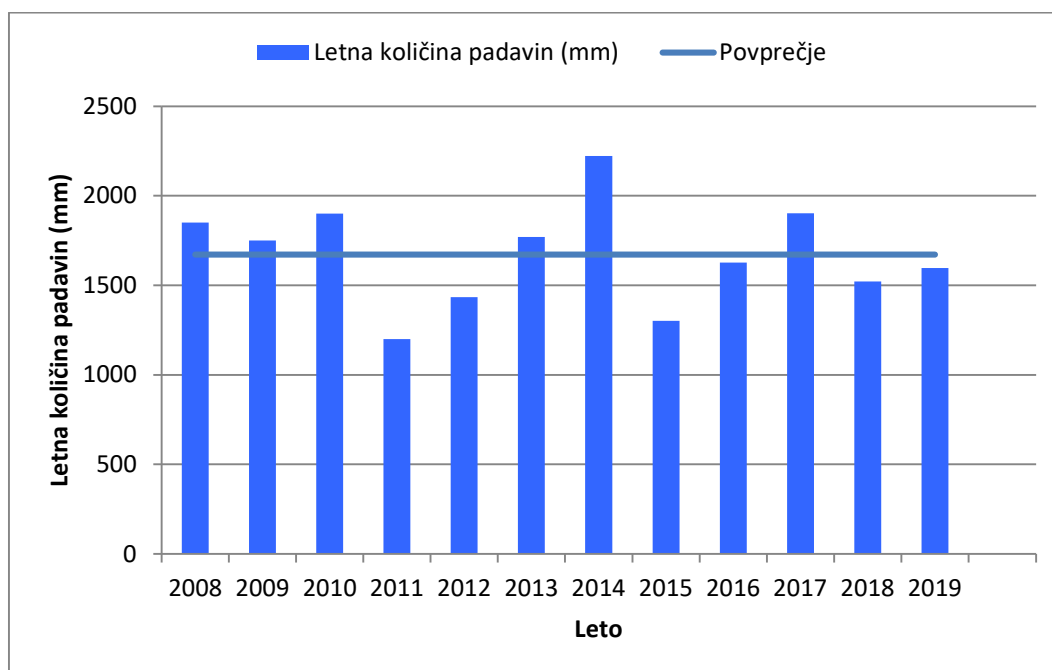


Slika 2: Koncentracije Rn-222 v dolini Brebovšice in Poljanske Sore, merjeno z detektorji sledi
Prikazane so le lokacije, na katerih so se izvajale meritve v vseh letih v obdobju 2008-2019. Podatkov za leti 2017 in 2018 ni, ker meritve niso bile izvedene.

V letih 2013-2016 so vrednosti izmerjene z detektorji sledi v Todražu na najnižji ravni v zadnjih letih. Sploh koncentracija v zimskem obdobju 2015/2016 (oktober 2015-april 2016) je nenavadno nizka (9 ± 2 Bq/m³). Ustrezne razlage za tako nizko vrednost nimamo. Da bi se lažje spremljalo koncentracije radona predlagamo, da bi namesto polletnih meritev izvajali četrtletne. Sedaj npr. ena polletna meritev bistveno vpliva na rezultat oziroma povprečje in če je morda kaj narobe z detektorjem ali razmerami med meritvijo (npr. padec

detektorja na tla), vpliva ne moremo oceniti. Z večjo pogostostjo meritev lahko takšne dogodke izločimo. Prav tako lahko nenavadna odstopanja lažje izločimo, če imamo na enem merilnem mestu več detektorjev, kar je bil primer v 2019.

Izhajanje radona iz prekrivke na odlagališčih se je očitno stabiliziralo in ustalilo. Na izhajanje radona iz tal vplivajo tudi razpoke v tleh, ki jih je več v sušnih letih. Pomembna pa 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 3) je prikazana letna količina padavin na lokaciji vremenske postaje na Borštu. Ob primerjavi slik (Slika 2, Slika 3) 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 2).



Slika 3: 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:

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

pri čemer je

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

Z uporabo navedene metodologije dobimo za leto 2019 prispevek rudniškega radona na lokaciji Gorenja Dobrava:

$$\Delta C_{Rn,Y} = 7,3 \pm 1,5 \text{ Bq/m}^3 * \frac{41 \pm 6 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}}{94 \pm 9 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}} = 3,2 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$$

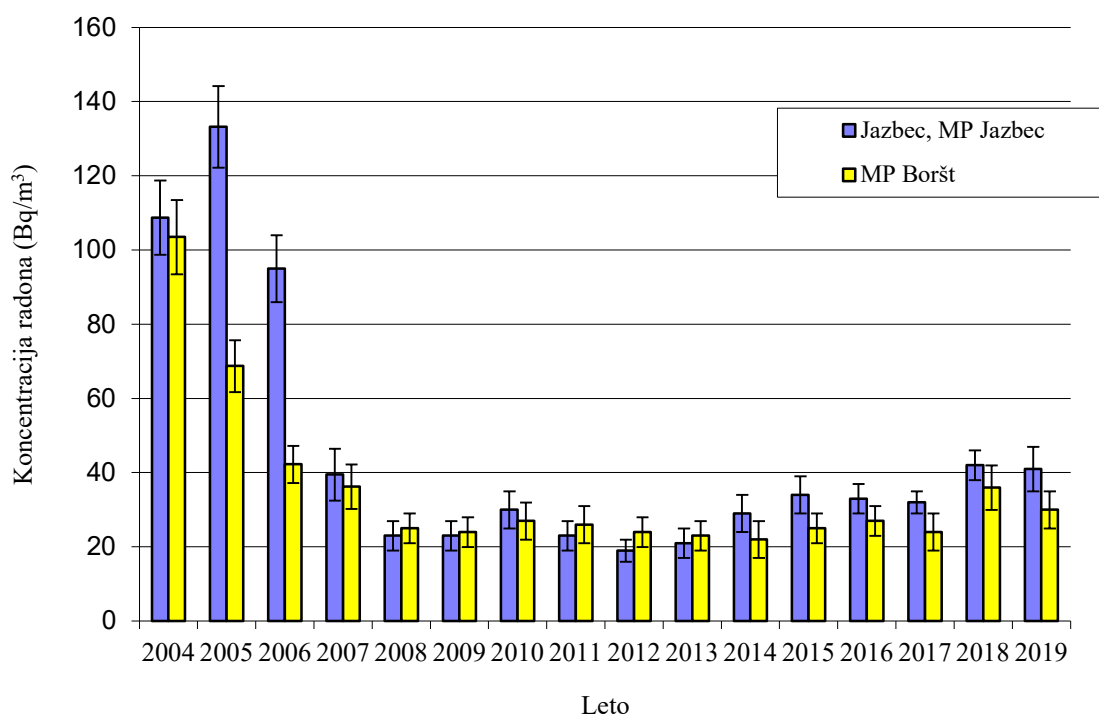
Negotovost ocene je podana s faktorjem zaupanja $k=2$.

Ker v letu 2019 ni bilo izvedenih meritev na lokaciji Transportni trak, smo v enačbo vstavili povprečno koncentracijo, ki smo jo izmerili na lokaciji na odlagališču Jazbec (MP Jazbec).

Ocena rudniškega prispevka po navedeni metodologiji je konservativna, saj ne upošteva ozadja v izračunanih povprečjih v obdobju 1991-1995.

Na odlagališčih Boršt (Boršt, merilna postaja) in Jazbec (MP Jazbec) so izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2019 za več kot dvakrat nižje kot pred končno ureditvijo posameznega odlagališča v 2008 (Slika 4). V obdobju 2014-2019 je videti rahel trend povečanja koncentracije radona na obeh odlagališčih. Ob relativno majhnih vrednostih in negotovosti meritve je težko zaključiti ali gre za manjšo učinkovitost prekrivke ali pa gre za nihanje rezultatov v okviru merilne negotovosti.

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 v Hotavljah ob domačiji Jezeršek in na Dobravščah 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 Dobravščah so namreč razlikujejo znotraj merilne negotovosti.



Slika 4: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt

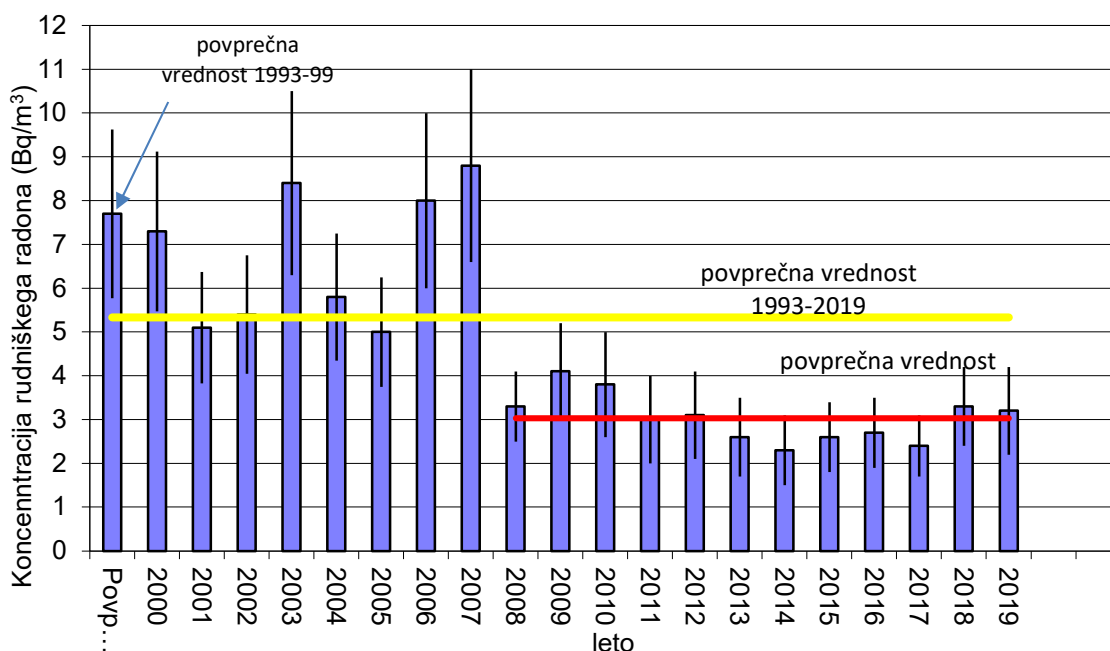
Iz tabele (Tabela III-3) in slike (Slika 5) lahko ugotovimo, da se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirjajo na nižji ravni kot je bila pred letom 2000. Po obsežnih zapiralnih delih v 2007 in 2008 je prispevek rudniškega radona padel. Z merilnimi metodami prispevka ni več možno oceniti in ga od leta 2010 določamo na osnovi modela [1].

Tabela III-3: Prispevek rudnika h koncentraciji Rn-222 v Gorenji Dobravi po posameznih letih (Bq/m³)

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

Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Prispevek RŽV	3,3 ± 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
Prispevek RŽV	2,4 ± 0,7	3,3 ± 0,9	3,2 ± 1,0



Slika 5: 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/m³ oziroma v obdobju 1993 do 2007, ko je že bila izvedena večina zapiralnih del, 7,2 Bq/m³. 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/m³ in je skoraj dvakrat nižja kot v obdobju pred 2008.

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

- ✓ Po letu 2005 se je prenehalo z izvajanjem mesečnih meritev dvodnevni koncentracij Rn-222 po dolini Brebovščice med Gorenjo vasjo in Brebovnico ter na odlagališčih

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

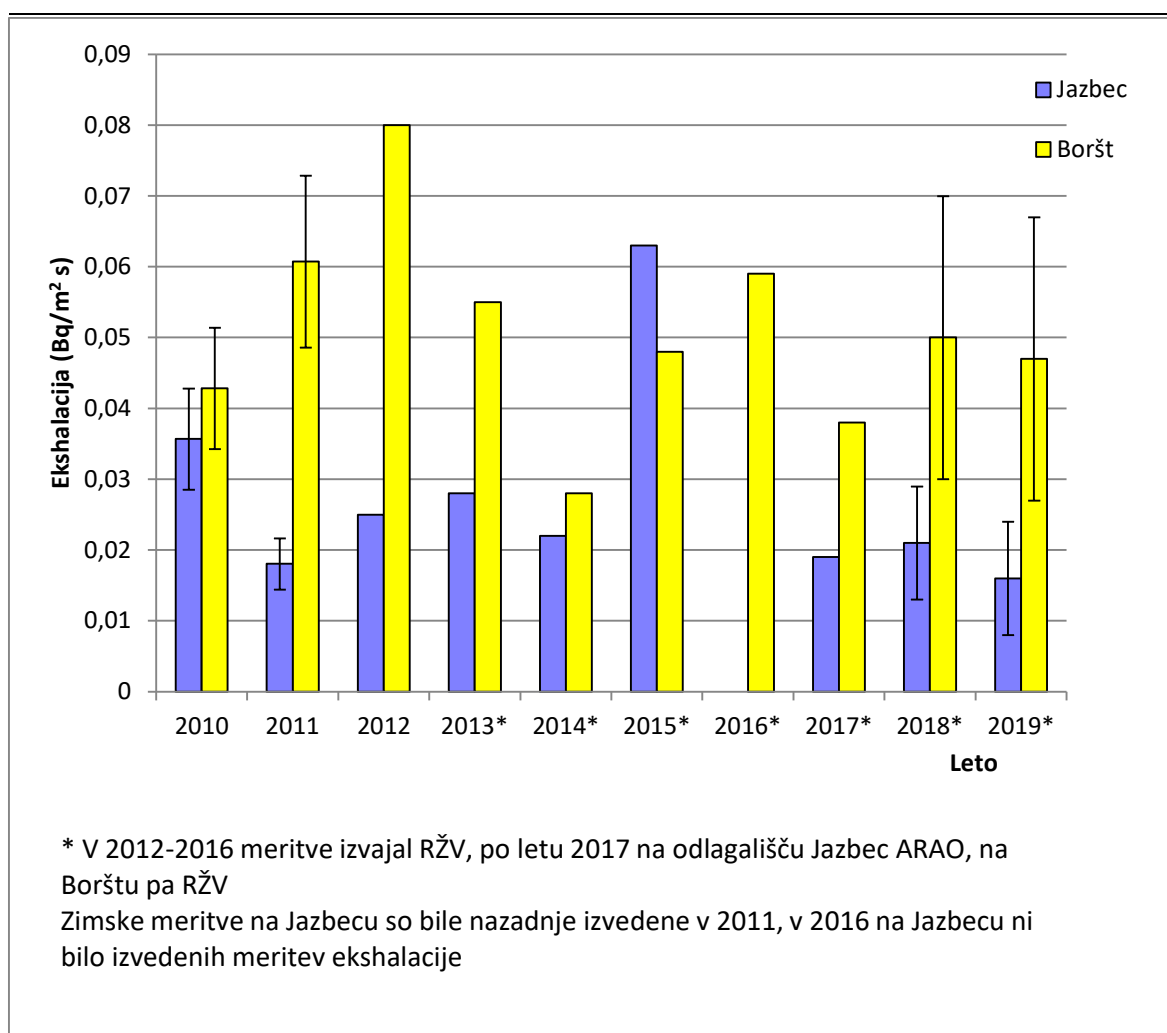
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

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

Povprečna letna ekshalacija radona iz odlagališč je prikazana na sliki (Slika 6). Ker se meritve ekshalacije izvajajo občasno, so rezultati močno odvisni od vremenskih razmer v času meritve. Suha, razpokana zemlja vpliva na večjo ekshalacijo, medtem ko mokra in zbita zemlja prepušča manj radona. Po letu 2012 RŽV d.o.o. sam izvaja meritve in po drugačni metodi kot v letih poprej pooblaščen organizacija za izvajanje meritev radona, vendar je v letih 2011-2012 RŽV d.o.o. svojo metodo preverjal z določenim številom meritev, ki sta jih hkrati izvedla RŽV d.o.o. in pooblaščen organizacija. Od leta 2017 dalje (vključno z letom 2017) RŽV d.o.o. izvaja meritve ekshalacije radona na odlagališču Boršt, ARAO pa na odlagališču Jazbec. Predlagamo, da določen del meritev v bodoče naredita skupaj pooblaščen organizacija, ki izvaja meritve radona z metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025 in RŽV d.o.o. ter ARAO 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 **0,5 – 1,0 Bq/m²s** (odlagališče Jazbec) in **nekaj Bq/m²s** (odlagališče Boršt) na vrednosti nekaj **10⁻² Bq/m²s** 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/m²s za odlagališče Boršt. Za odlagališče Jazbec z odločbo URSJV št. 3570-2/2019/9 z dne 25.9.2019 niso več določene avtorizirane mejne vrednosti za ekshalacijo radona iz odlagališča, so pa bile 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) do tega datuma 0,1 Bq/m²s za odlagališče.



Slika 6: Ekshalacija radona iz odlagališč Jazbec in Boršt po izvedenih zapiralnih delih. Prikazano je povprečje letnih in zimskih meritev.

Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališčih Jazbec in Boršt so vplivala na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališčih. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije radona na odlagališčih je prikazan na sliki (Slika 4). Na odlagališču Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona pred sanacijskimi deli običajno višje kot na Borštu. Podobno je tudi sedaj, z izjemo obdobja 2008 – 2013, ko so potekala zapiralna dela na odlagališčih in je bil nato očitno potreben čas za »umiritev« oziroma vzpostavitev ravnovesja.

Izmerjene koncentracije radona na obeh odlagališčih se gibljejo od 30 – 40 Bq/m³. Zanimivo je, da izmerjene vrednosti z detektorji sledi ne potrjujejo meritev ekshalacije. Pričakovali bi, da bodo na odlagališču Boršt, kjer so izmerjene večje ekshalacije radona, izmerjene tudi večje koncentracije radona. Vendar temu ni tako in izmerjene koncentracije radona z na MP Jazbec so za okoli ¼ do 1/3 večje od izmerjenih koncentracij na MP Boršt z metodo detektorjev sledi. Vzrok je morda v nereprezentativnih meritvah ekshalacije. Seveda je možno, da so razlike v meritvah ekshalacije radona in meritvah koncentracije radona na odlagališču Boršt posledica vremenskih razmer in izvedbe meritev ekshalacije radona v

obdobju, ko je bila zemlja bolj suha in je bilo v tleh več razpok. RŽV in ARAO namreč meritve ne izvajata v istem časovnem obdobju, niti ne enako časa. Povprečna letna hitrost vetra na MP Boršt Gorenja vas je 1,2 m/s.

V preteklosti, ko so bile koncentracije radona na Jazbecu precej večje od koncentracij na Borštu, smo to razlagali tudi z meteorološkimi pogoji. V zimskih dneh, ko je temperaturna inverzija pogostejša in daljša, so koncentracije radona na odlagališču Jazbec višje kot na odlagališču Boršt. Odlagališče Jazbec se namreč nahaja pod mejo povprečne letne inverzijske plasti, ki je po podatkih ARSO v dolinah Brebovščice in Todraščice na ~ 500 m n.v., odlagališče Boršt v celoti nad njo. V letih po sanaciji je očitno, da meteorološki pogoji ne vplivajo tako, kot smo razlagali v preteklosti (koncentracije radona na Jazbecu niso več tako zelo večje od koncentracij na Borštu) ali pa je le zelo malo dni s temperaturno inverzijo.

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 programu 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.

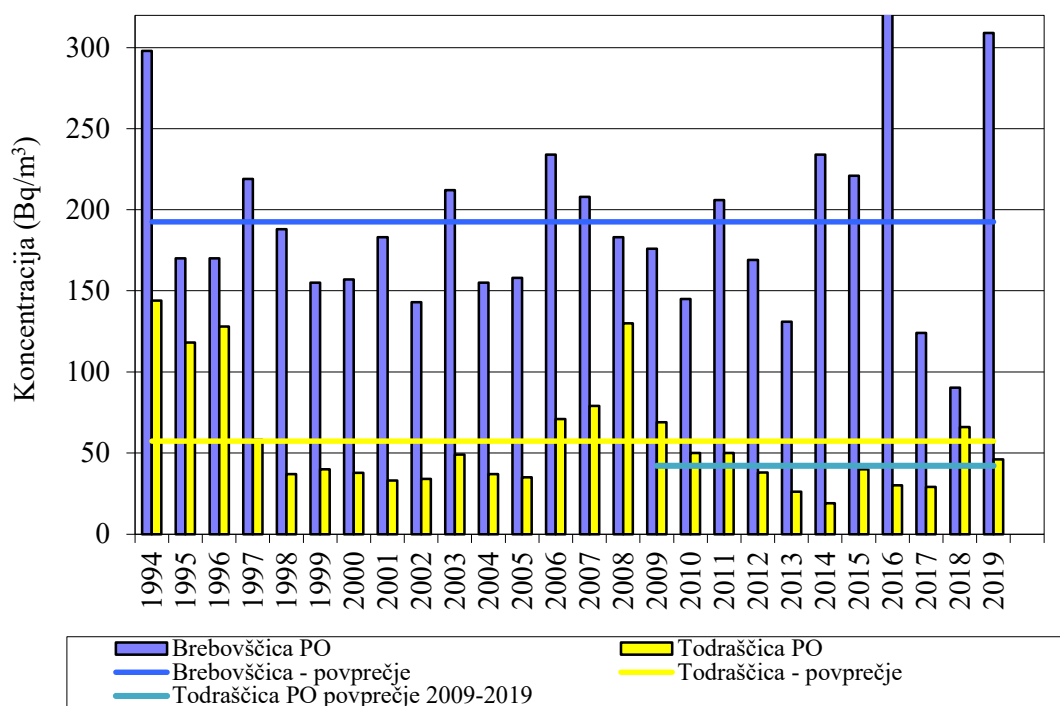
Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti iz kvartalnih ali mesečnih vzorcev) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 7, Slika 8, Slika 9). Na sliki (Slika 3) 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

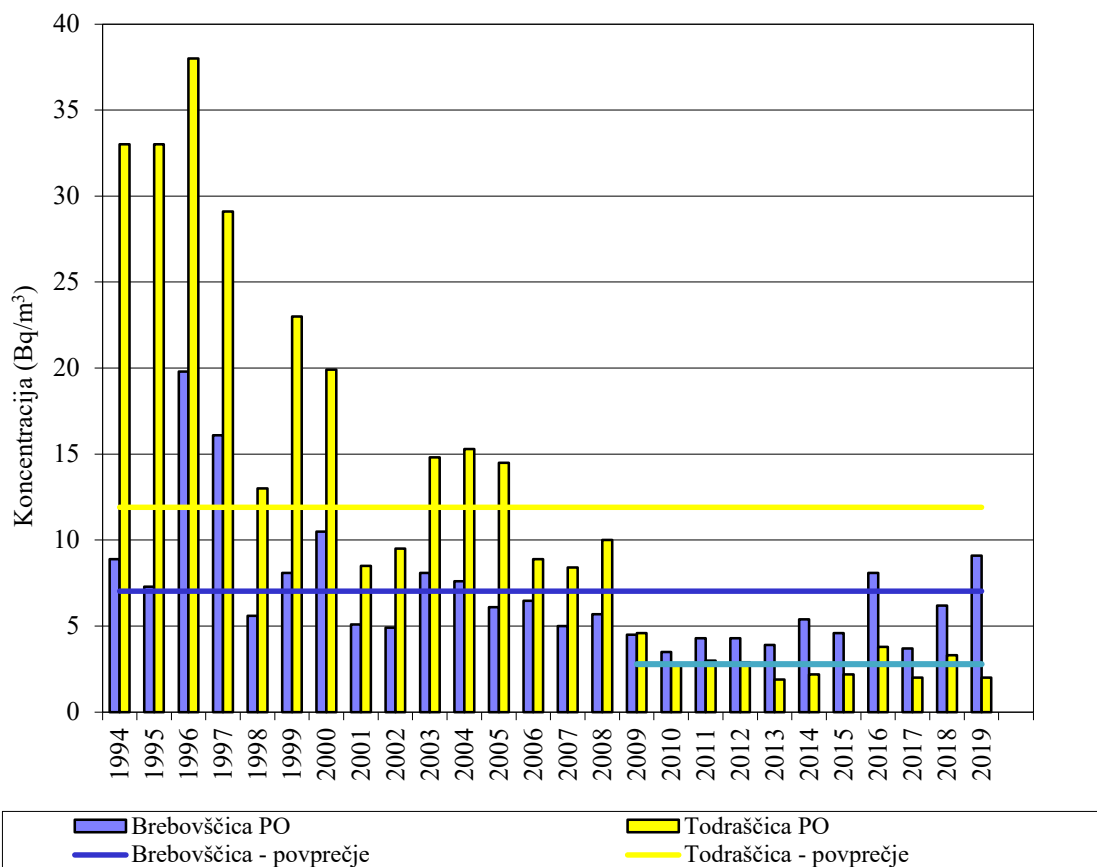
III-4).

Tabela III-4: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v Todraščici PO in Brebovščici PO med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

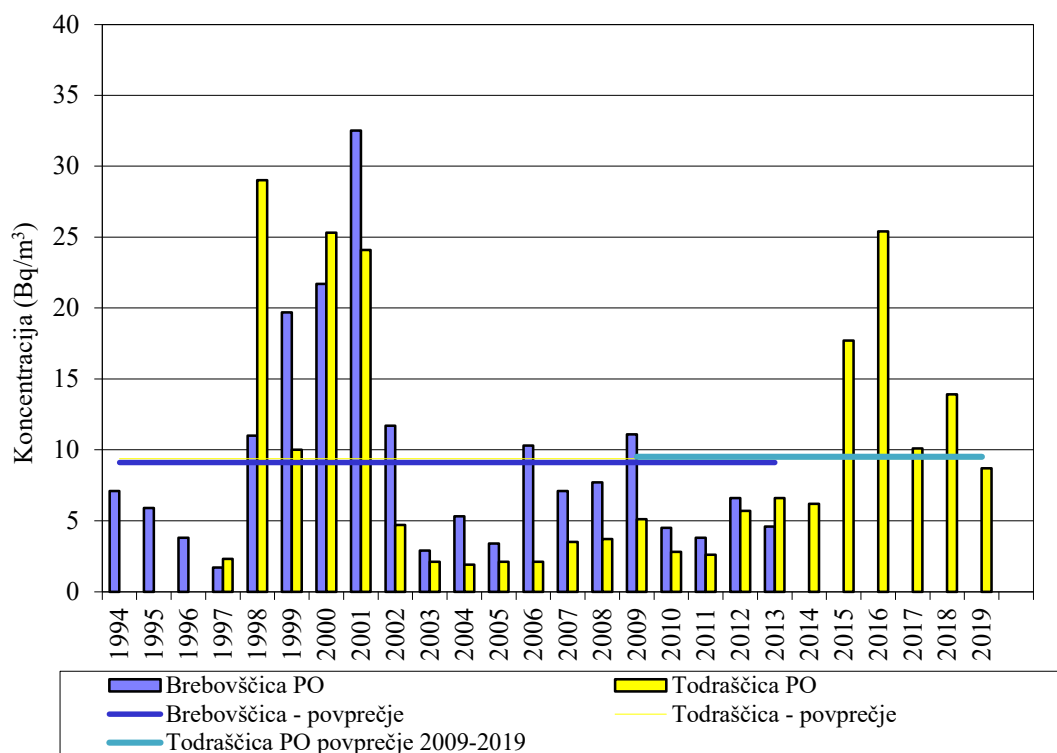
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 7: 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 8: 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 9: Povprečne letne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici PO

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosejajo nekaj odstotkov mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 (IK = 3000 Bq/m³), za Pb-210 (IK = 190 Bq/m³) in za Ra-226 (IK = 480 Bq/m³) [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-6). 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 2019 je RŽV v skladu s programom monitoringa izvedel meritve U-238 in Ra-226 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-5).

Tabela III-5: Koncentracije U-238 in Ra-226 v enkratnih vzorcih Brebovščice

	2019	2018	2017	2016
U-238 (Bq/m³)				
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/m³)				
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 ($221 \pm 8 \text{ Bq/m}^3$) in v Sori PO pa ($16,5 \pm 0,5 \text{ Bq/m}^3$), v 2016 pa so bile koncentracije U-238 v Brebovščici PO ($371 \pm 31 \text{ Bq/m}^3$) in v Sori PO ($37,6 \pm 4,0 \text{ Bq/m}^3$),

Iz pregledne tabele (Tabela III-6) 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 k povečanju koncentracije radionuklidov v Brebovščici (Tabela III-5).

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 U₃O₈ 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-6: Letne tekočinske emisije U₃O₈ in Ra-226 iz Jamskega obrata, odlagališča Jazbec in 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 U₃O₈ (kg)											
Jamski obrat	100	156	173	184	147	134	158	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev

Jazbec	65	44	32	38	21,8	30	39	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev
Boršt	21	77	43	29	12	10	17	14	9,8	12,5	17
SKUPAJ	185	276	248	251	180,8	174	214	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)											
Jamski obrat	20	27	32	37,1	29	28	33,7	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev
Jazbec	9,3	5	3	4,6	2,2	3,1	4,9	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev	Ni meritev
Boršt	11,9	35	13	12,5	3	3,4	5,8	5,0	2,9	3,3	3,8
SKUPAJ	41,2	67	48	54,3	34,2	34,5	44,4	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti

	2018	2019				
Letne tekočinske emisije U₃O₈ (kg)						
Jamski obrat	Ni meritev					
Jazbec	Ni meritev					
Boršt	22,3	17,7				
SKUPAJ	Ni možno oceniti					
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)						
Jamski obrat	Ni meritev					
Jazbec	Ni meritev					
Boršt	3,74	3,32				
SKUPAJ	Ni možno oceniti					

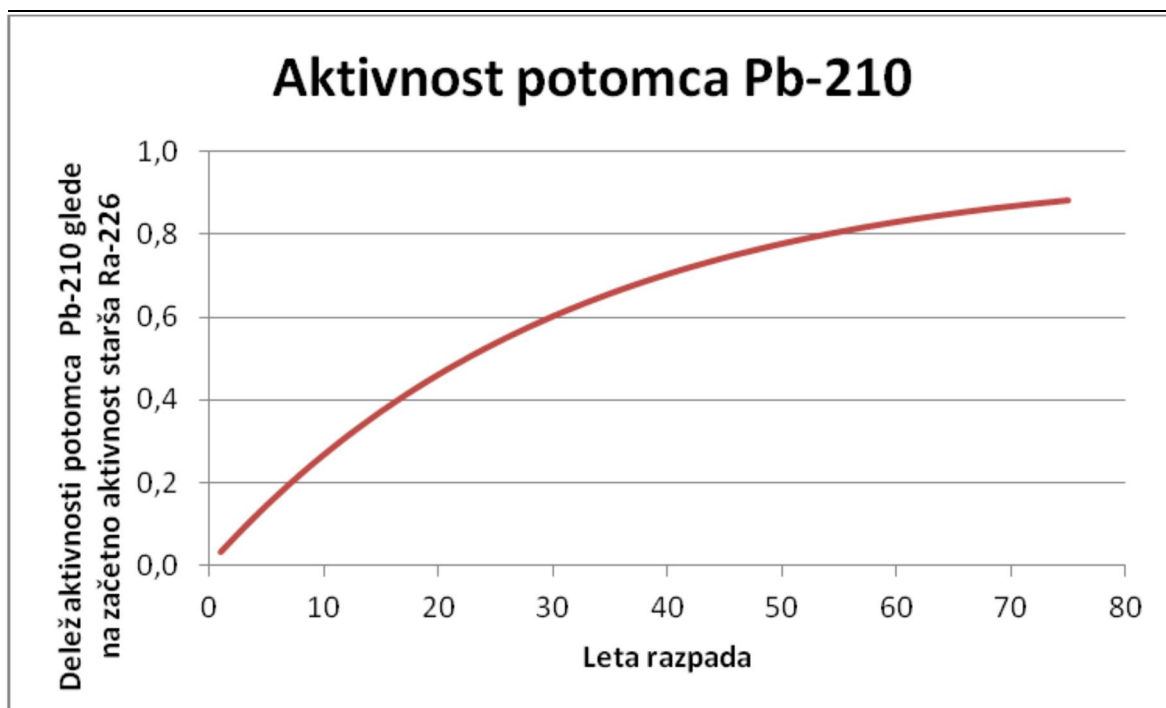
Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todraščici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču Boršt (Slika 7).

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

V 2018 je bila povprečna letna koncentracija urana v Todraščici zelo velika. Visoko povprečje je posledica zelo visoke vrednosti izmerjene v zadnjem kvartalu ($138 \pm 10 \text{ Bq/m}^3$), vzroka za tako visoko vrednost U-238 v zadnjem kvartalu ne poznamo. Koncentracija U-238 v Todraščici PO je v 2019 nekaj večje od povprečja, a v skladu s pričakovanji glede na vrednosti pretokov Todraščice.

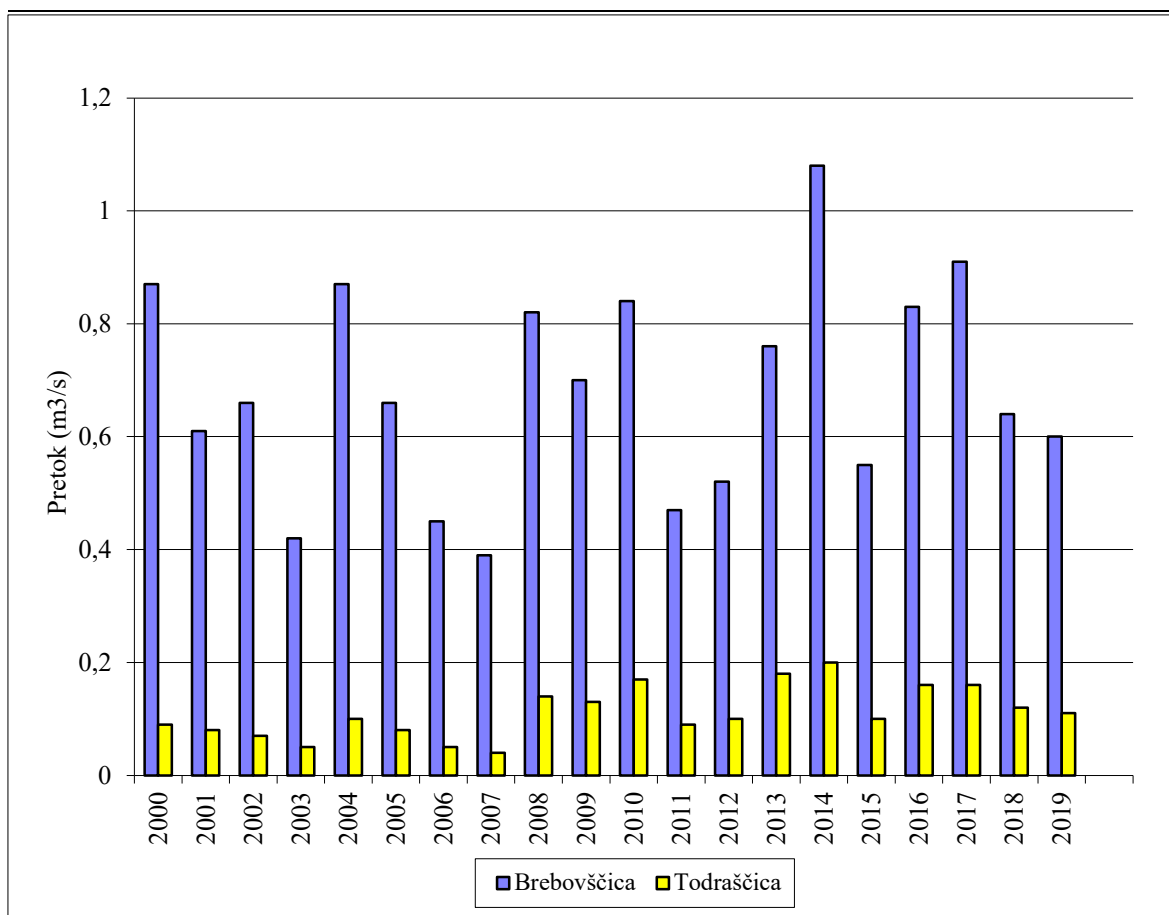
Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici so se z leti zmanjšale in so po letu 2009 pod 5 Bq/m^3 . Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih Jazbec in Boršt so se izpusti Ra-226 zmanjšali in ustalili na letni ravni okoli 35-40 MBq. Po končanih zapiralnih delih na odlagališču Boršt, od leta 2009 dalje, so povprečne vrednosti Ra-226 v Todraščici padle za nekajkrat (Slika 8).

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 9). 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 10). V 2019 je bila izmerjena povprečna koncentracija Pb-210 v Todraščici $8,7 \pm 0,7 \text{ Bq/kg}$. 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 2019 v okviru pričakovanj.



Slika 10: Povečevanje aktivnosti Pb-210 zaradi radioaktivnega 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 11: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

III.2.2 Podzemna voda

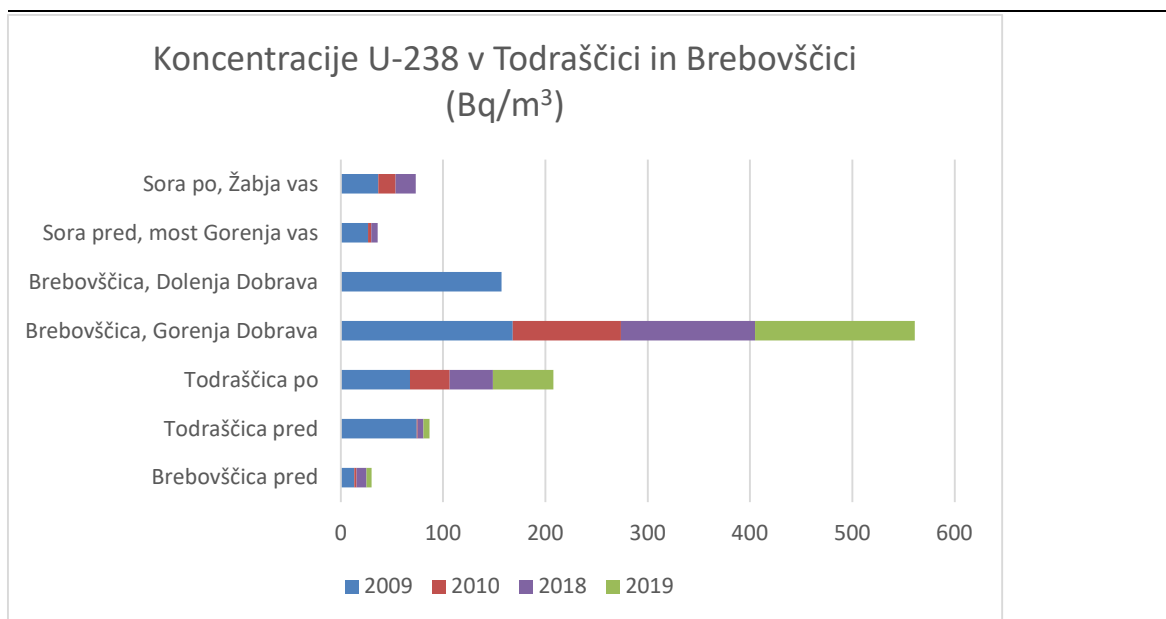
Ker je glavni vir imisij v podzemno vodo odlagališče Jazbec, so v programu meritev emisij in imisij meritve koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v izcednih vodah iz odlagališča Jazbec (voda iz propusta pod Jazbecom, pred točko mešanja). Rezultati meritev so v tabeli V.2.5. Izmerjene vrednosti Ra-226 so nekaj desetkrat večje od vrednosti v Brebovščici PO, izmerjene vrednosti U-238 pa nekaj stokrat večje od vrednosti v Brebovščici PO. Ob upoštevanju, da k onesnaževanju Brebovščice prispevata tako jamska voda, kot Jazbec pa so izmerjene vrednosti U-238 v Brebovščici PO približno v razmerju s pretoki vode na merilnem mestu Jazbec in pretokom Brebovščice PO.

Izmerjene koncentracije U-238 v vodi iz vrtin na odlagališču Jazbec so približno 2-10x višje (odvisno od vrtine, Slika 12) kot v vodi iz MM Jazbec. Vrtine na odlagališču Jazbec nimajo neposrednega stika s podzemno vodo. V Brebovščici PO so nato koncentracije U-238 približno 10x nižje kot v vodi iz MM Jazbec ter v podzemni vodi (BS 30) še 10x nižje kot v Brebovščici PO (Tabele V.2.4, V.2.5 in V.2.6.). Za Ra-226 so razmerja namesto 10 okoli 2 do 5.



Slika 12: Lokacije piezometrov in inklinometrov na odlagališču Jazbec

V 2018 so bile po 2010 spet izvedene meritve enkratnih vzorcev vode po celotni dolini Brebovščice. Primerjava rezultatov po lokacijah in po letih, ko so na voljo merski podatki, je na sliki (Slika 13). Prikazano je tudi leto 2019, čeprav ni merskih podatkov za vse lokacije. Značilno je, da so koncentracije urana v Brebovščici in Todraščici višje po dotoku voda iz odlagališč Jazbec in Boršt ter iztoka jamske vode in da bodo nekdanji objekti oziroma odlagališči še vedno predstavljali določeno obremenitev okolja z radioaktivnimi izpusti.



Slika 13: Koncentracije urana v enkratnih vzorcih vod v okolici nekdanjega rudnika urana. Za nekatera leta niso na voljo merski podatki na vseh lokacijah.

III.3 SEDIMENTI

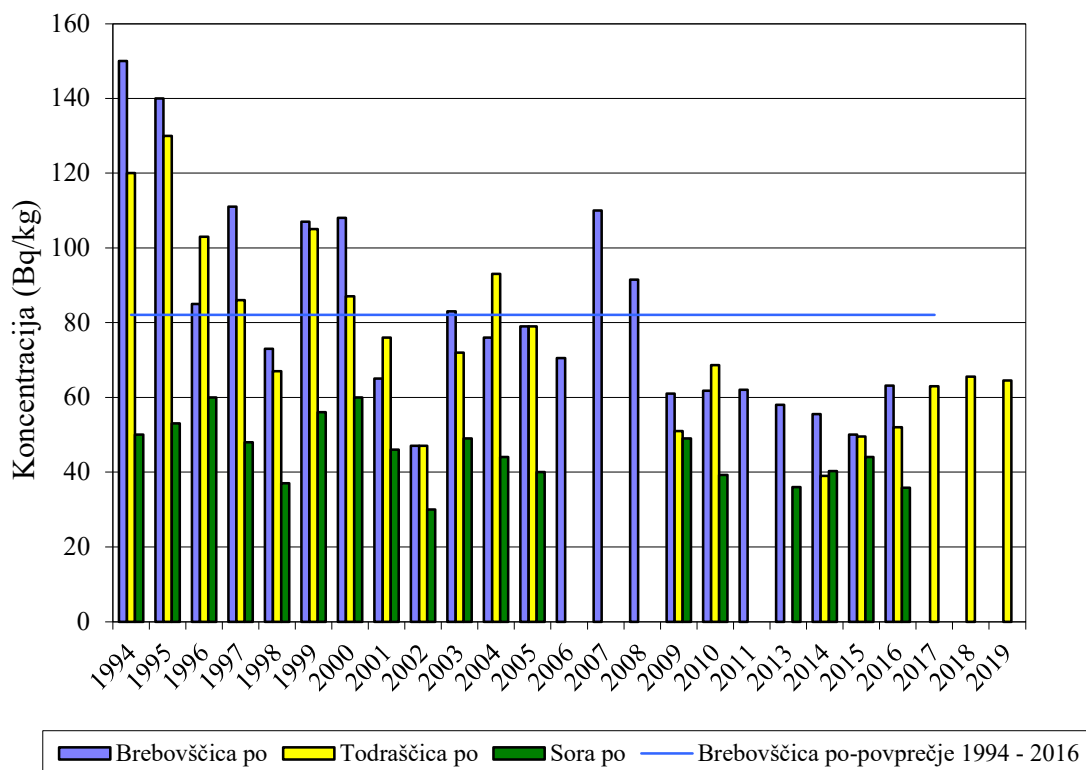
V tabeli (Tabela V.3.1) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v vzorcih sedimentov v Todraščici PO. Po programu so predvidene meritve polletnih zbirnih vzorcev v Gorenji Dobravi, Todraščici PO, Poljanski Sori, kanalu Jazbec, Zahodnem potoku Boršt. Od vseh meritev so torej izvedeni le 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.

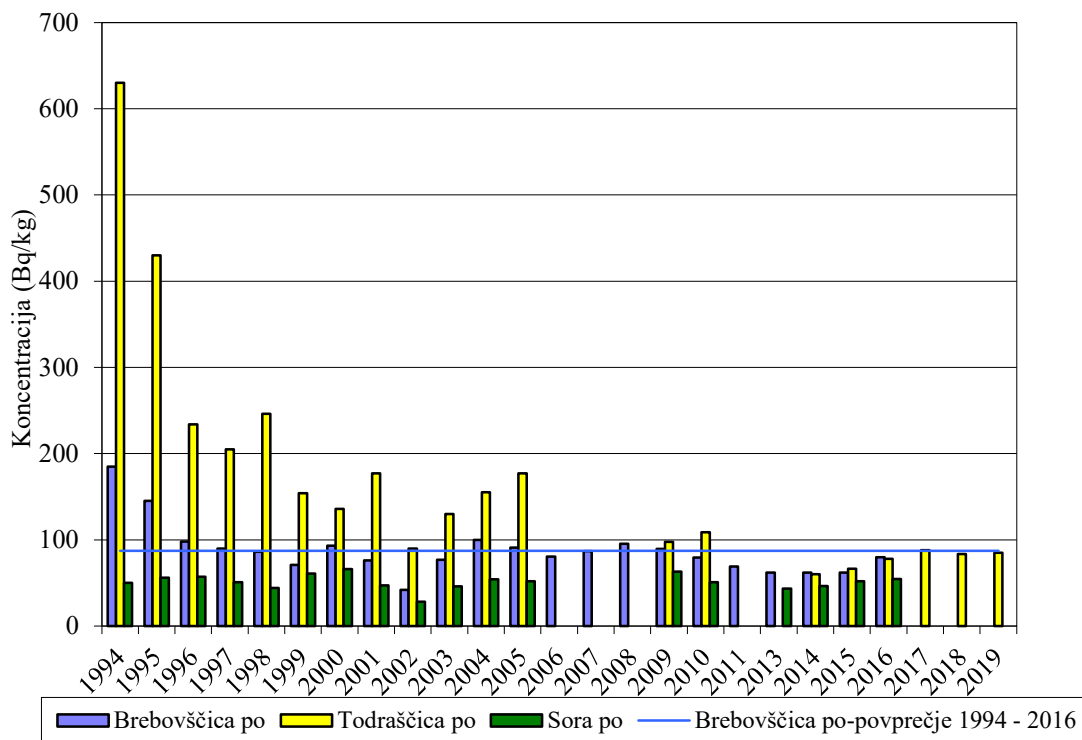
V tabeli (Tabela III-7) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 14, Slika 15 in Slika 16) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

Tabela III-7: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice po, Brebovščice po in Sore po med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

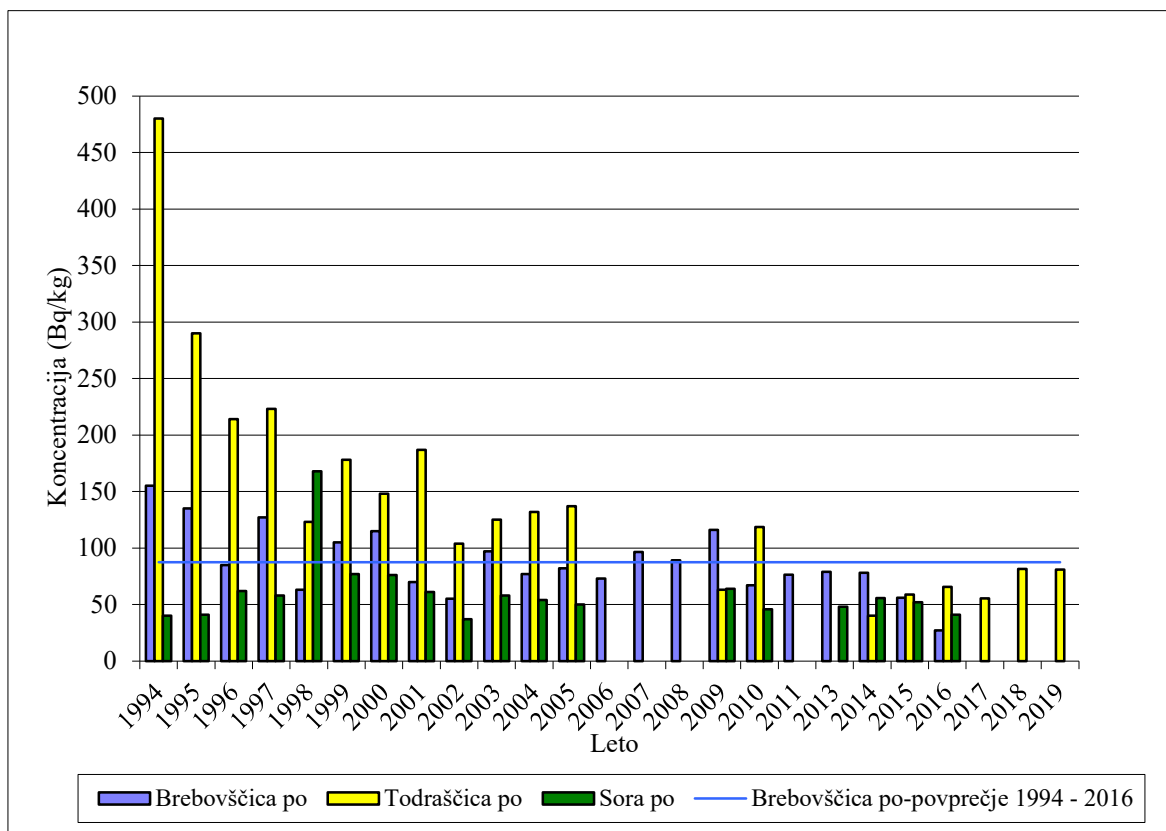
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



Slika 14: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 15: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 16: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so po končanih zapiralnih delih v 2008 in 2009 nižje od povprečja po koncu obratovanja rudnika.

Koncentracije U-238 so bile v letih 2007 in 2008 višje kot v 2001 – 2005, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih. Meritve koncentracije Pb-210 so obremenjene s precejšno negotovostjo (negotovost meritve skoraj 30 %, faktor zaupanja $k=1$), zato enkratne višje vrednosti v 2009 v Brebovščici PO ali Todraščici PO v 2010 ne moremo pripisati delom na odlagališčih.

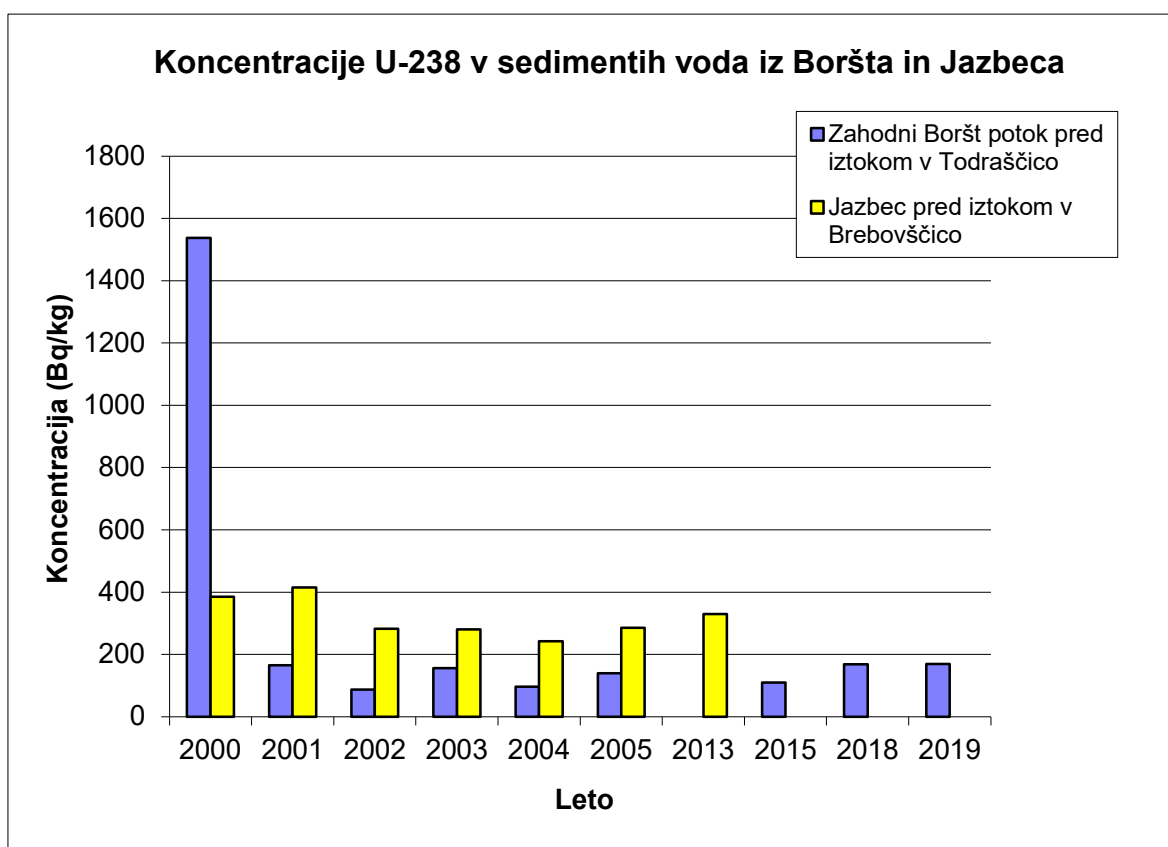
V sedimentih v Todraščici PO se koncentracije Ra-226 v obdobju 2017-2019 približno konstantne in nekaj višje kot leta pred tem. Podoben trend bi lahko opazili pri Pb-210 vendar so tu meritve obremenjene z veliko negotovostjo, zato bi bil takšen zaključek prezgoden. Izmerjene koncentracije radionuklidov 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. To, da se že od 2016 ne spremlja radioaktivnosti v sedimentih Brebovščice in kanala Jazbec (čeprav je bilo predvideno v programu) pomeni, da tudi stanja na odlagališču Jazbec ne

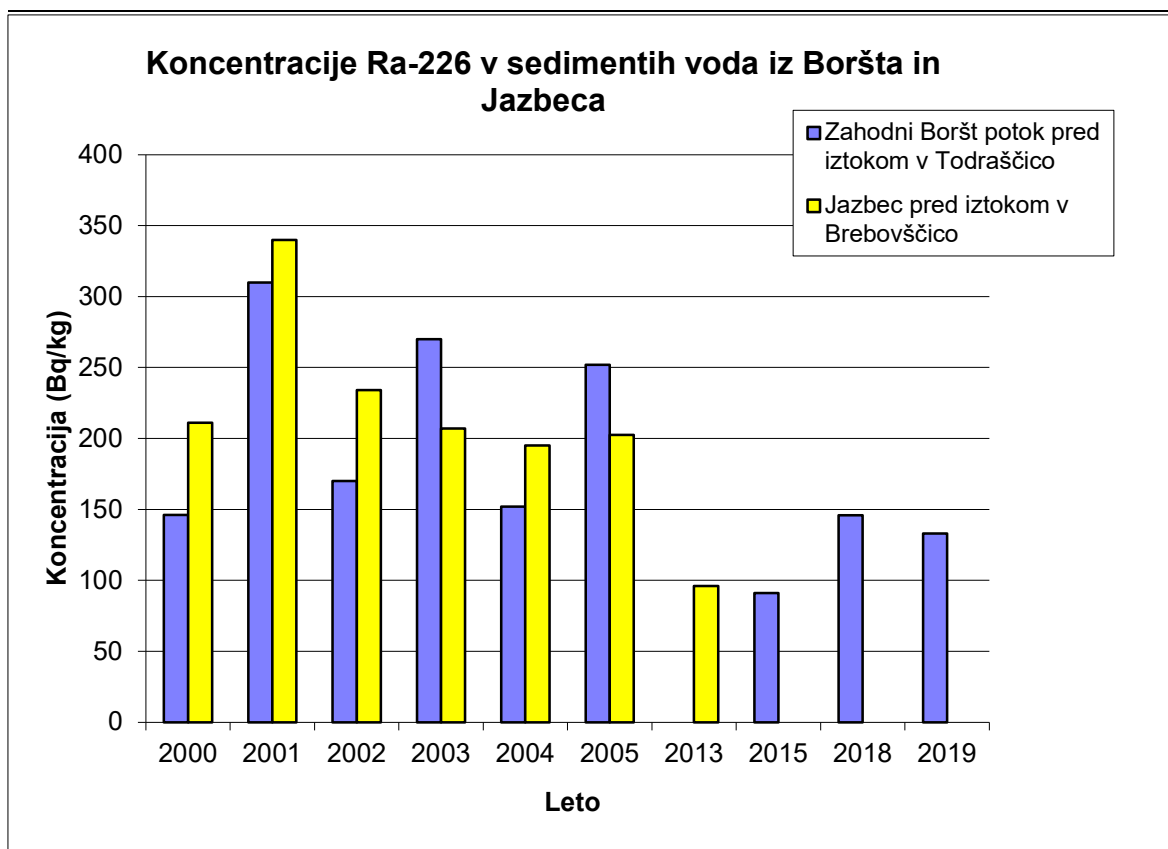
spremljamo več.

Značilen je trend upadanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice in Todraščice do leta 2009. Z zapiralnimi deli se je očitno uspešno preprečilo izpiranje snovi iz odlagališč. 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 odlagališčih Jazbec in Boršt je na slikah (Slika 17, Slika 18). 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, ocene za Jazbec pa ne moremo podati.



Slika 17: Koncentracije U-238 v sedimentih iz Boršta in Jazbeca



Slika 18: 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 izvajati 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 2018 in 2019 analizirana vzorec sena iz odlagališča Boršt in vzorec sena iz Gorenje Dobrave (podobno kot v 2016).

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 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 2018-2019 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 2018-2019 okoli 5 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 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.

V 2019 je RŽV vzorčil lišaj na sadnem drevju pod spodnjim robom odlagališča Boršt. Po pričakovanju so v lišaju kot bioindikatorju onesnaženosti zraka izmerjene vrednosti Pb-210 zelo visoke. Tudi vrednost U-238 in Ra-226 je v lišaju višja kot senu. Meritev radioaktivnosti v bioindikatorju nam v tem primeru pove, da je v okolju prisotne več naravnih radionuklidov in tudi, da lišaj absorbira te radionuklide.

III.5 RIBE

V letu 2019 so bile v programu nadzora imisij odlagališča Jazbec meritve rib v Brebovščici, Poljanski Sori in Selški Sori, a se jih ni izvedlo. Meritve se je nazadnje izvedlo leta 2014, ko sicer niso bile v programu in to zaradi reprezentativnosti vzorcev rib (konzumno vlaganje rib v Soro, migracija zaradi drsti) namesto meritev v 2013, ki so bile tedaj predvidene v programu monitoringa [5].

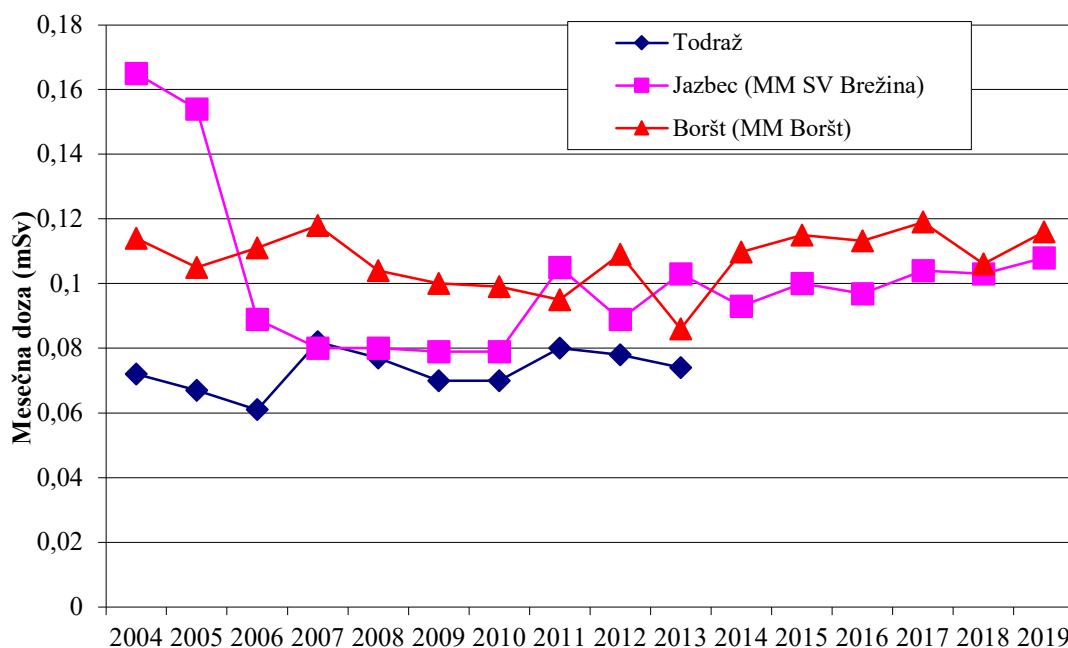
III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

V programu monitoringa za 2019 so bile meritve zunanjega sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališčih Jazbec (MM SV Brežina) in Boršt. Absorbirano dozo v zraku smo merili s termoluminiscentnimi dozimetri na treh lokacijah, eni na odlagališču Jazbec in dveh na odlagališču Boršt (MM Boršt in Boršt etaža). Po programu bi se sicer morale izvajati kvartalne meritve na lokaciji merilnega mesta Jazbec (MM SV Brežina) (izvajale so se le polletne) in v Todražu (niso izvajane že od leta 2014).

Na odlagališču Boršt se je v skladu s programom izvajalo kvartalne meritve na lokaciji MM Boršt ter na lokaciji »Boršt etaža« (merilno mesto na vrhu odlagališča Boršt). 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. Pregled povprečnih mesečnih doz izmerjenih s TL dozimetri je na sliki (Slika 19). Mesečne doze smo dobili tako, da smo izmerjeno dozo v danem časovnem intervalu delili s številom mesecev v tem intervalu. Zadnja štiri leta je videl rahel trend naraščanja mesečne doze zunanjega sevanja na obeh odlagališčih.

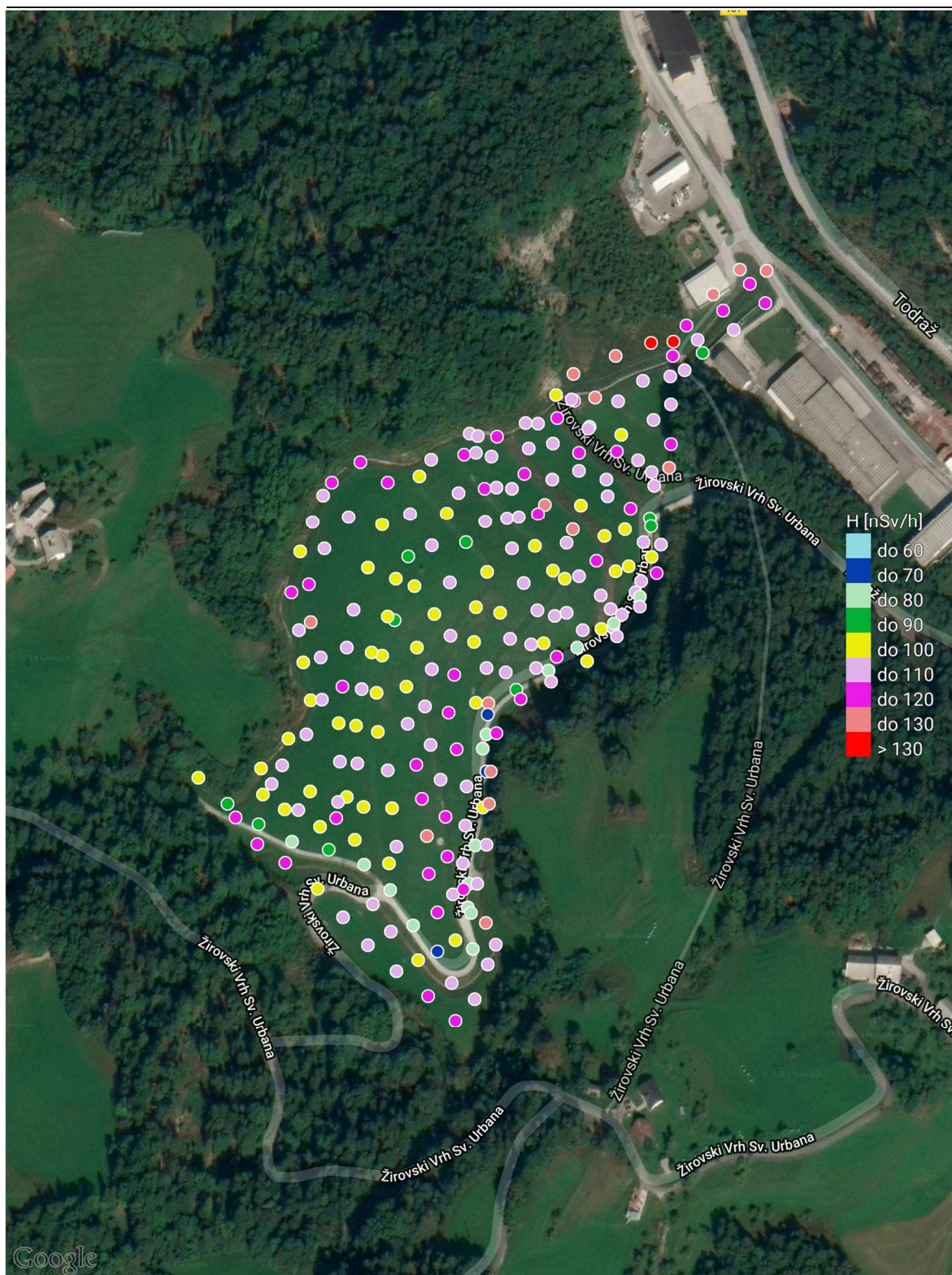
Obsežna zapiralna dela, predvsem nanašanje prekrivke, so vplivala na zmanjšanje doze na odlagališču Jazbec po letu 2006.



Slika 19: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

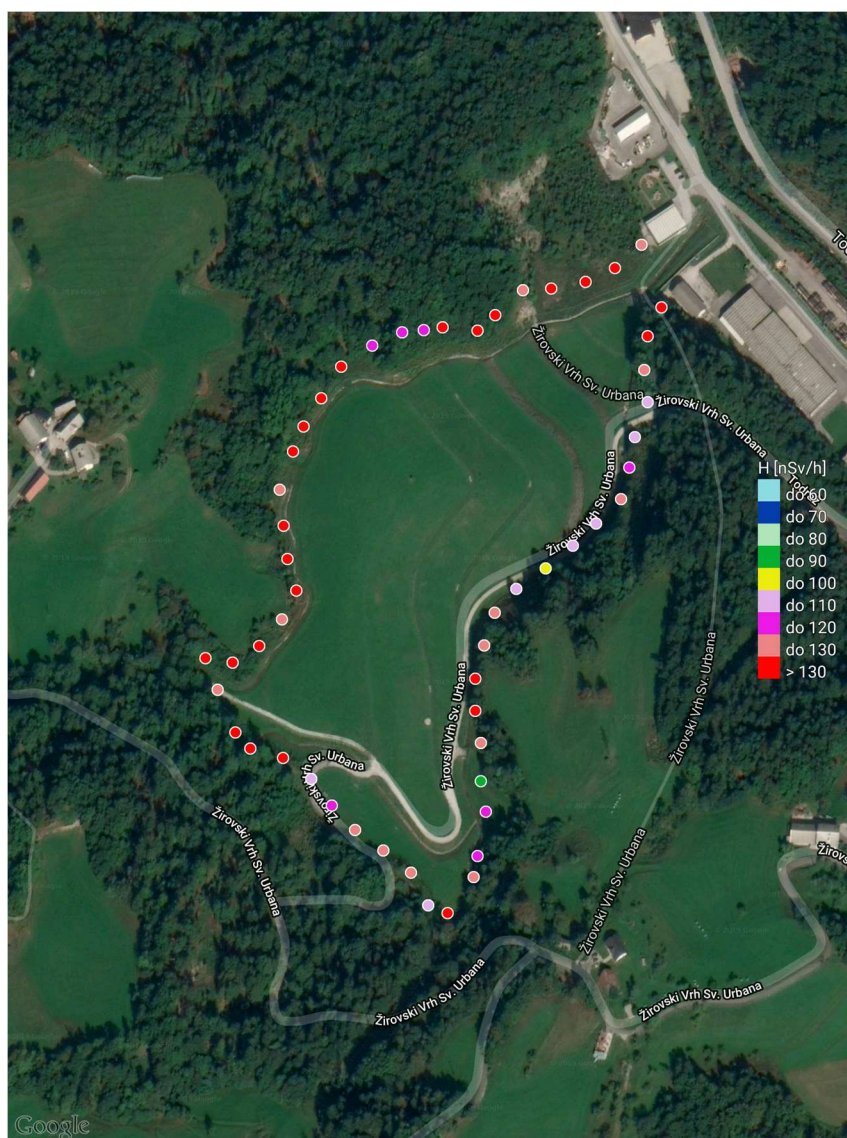
V splošnem velja [19], da k sevanju ozadja oziroma k zunanjemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in črnobilska kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred črnobilsko kontaminacijo [20] so bile med 0,10-0,12 $\mu\text{Gy/h}$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

Meritve absorbirane doze na odlagališču Jazbec je v letu 2019 izvedla Agencija za radioaktivne odpadke s svojimi merilnimi inštrumenti. Iz poročila o meritvah hitrosti doze in kontaminacije površin št. SVS-AK2019/10 z dne 5.11.2019 povzemamo rezultate meritev (Slika 20). Meritve so izvedli 25.10.2019 z merilnikom Automess AD6/H s sondo AD-b.



Slika 20: Meritve hitrosti doze zunanega sevanja gama na površini odlagališča Jazbec. Meritve na višini 1 m, povprečnovalno območje 25 m. Meritve je izvedel M. Eržen iz Agencije za radioaktivne odpadke, poročilo o meritvah hitrosti doze in kontaminacije površin, številka poročila SVS-AK2019/10, 5.11.2019.

Izmerjene hitrosti na površini odlagališča Jazbec so v okviru pričakovanih vrednosti. Na SV delu odlagališča so vrednosti višje kot na osrednjem in južnem delu odlagališča. To je verjetno posledica radioaktivnosti v materialu in naklona na tem delu odlagališča. ARAO je v 2019 izvedel tudi meritve hitrosti doze v okolici odlagališča Jazbec. Rezultati so na sliki (Slika 21). Podobno kot že v preteklih letih so bile izmerjene povečane nekaj večje vrednosti na S in JZ strani odlagališča.

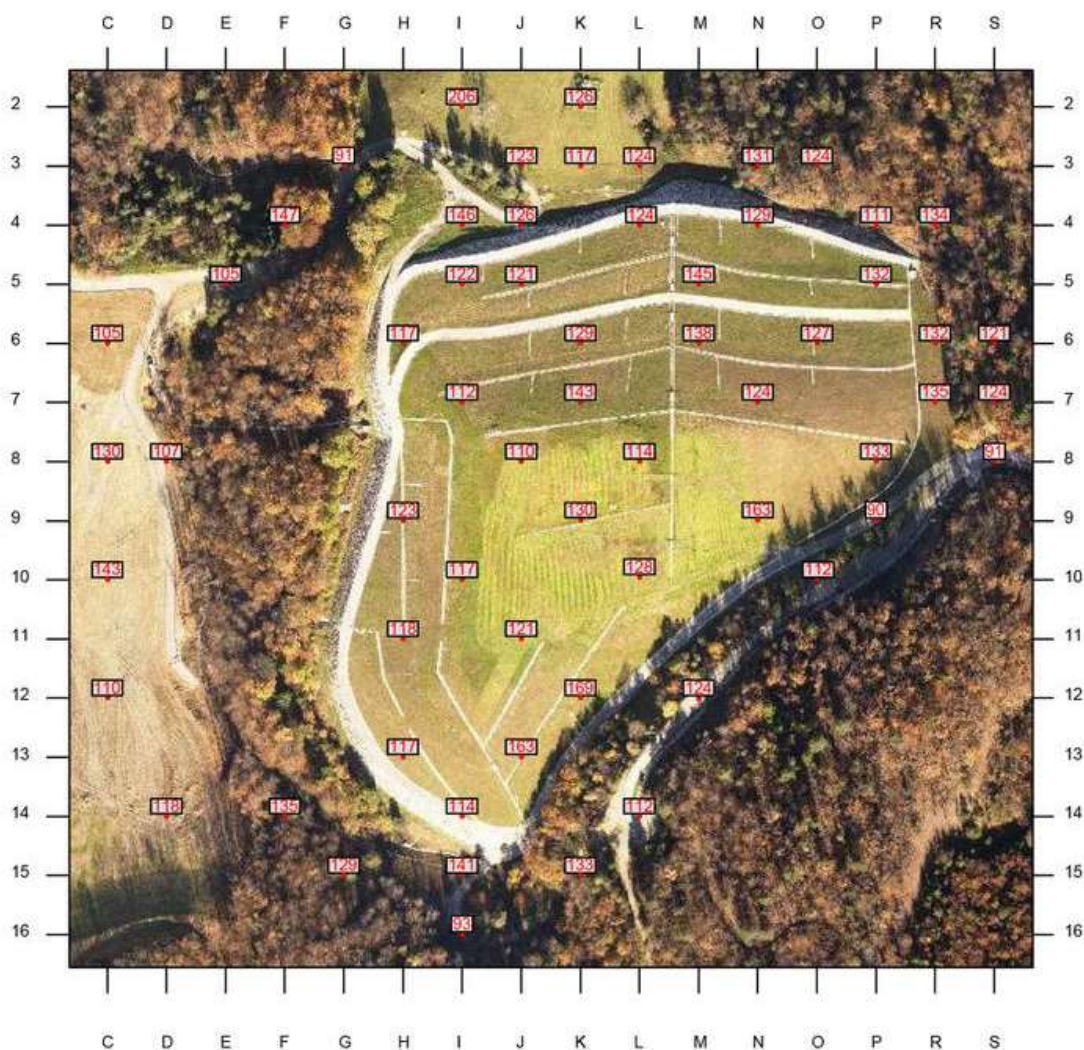


Slika 21: Meritve hitrosti doze zunanjega sevanja gama v okolici odlagališča Jazbec. Meritve na višini 1 m, povprečevalno območje 25 m. Meritve je izvedel M. Eržen iz Agencije za radioaktivne odpadke, poročilo o meritvah hitrosti doze in kontaminacije površin, številka poročila SVS-AK2019/10, 5.11.2019.

Nadzor v preteklosti je pokazal, da odlagališče Jazbec ne prispeva več povišane doze gama

sevanja v okolici odlagališča, prav tako pa niso presežene avtorizirane vrednosti $0,2 \mu\text{Gy/h}$ ($0,2 \mu\text{Sv/h}$ če upoštevamo pretvorbni faktor med Gy in Sv 1)

Meritve absorbirane doze na odlagališču Boršt je v letu 2019 izvedel RŽV: Jože Rojc, Janez Čadež in Hiacinta Klemenčič z merilnim instrumentom instrument Automes 6150 AD6/h ser. št.: 129288 s sondo AD/h-b ser. št.: 129537 dne 24. in 25.10.2019. Rezultati meritev so na sliki (Slika 22).



Slika 22: Meritve hitrosti doze zunanega sevanja gama na površini odlagališča Boršt. Meritve sta izvedla J. Čadež in H. Klemenčič iz Rudnika Žirovski vrh d.o.o.

Iz meritev hitrosti doze na odlagališču Boršt izhaja, da odlagališče ne prispeva k povečanju doze zunanega sevanja v okolici odlagališča.

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 2021 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 2019 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 povprečno vrednost dodatne koncentracije Rn-222 zaradi RŽV.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222 v letu 2019 je:

$E = 1,7 \pm 0,5 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

$E = 1,2 \pm 0,3 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 10 let,

$E = 0,5 \pm 0,1 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 1 leto

in je podobna dozi v preteklih letih.

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 dolini 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 5). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med $6,2\text{-}9,3 \text{ Bq/m}^3$.

V letu 2019 je koncentracija radona povečana za $3,2 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2019:

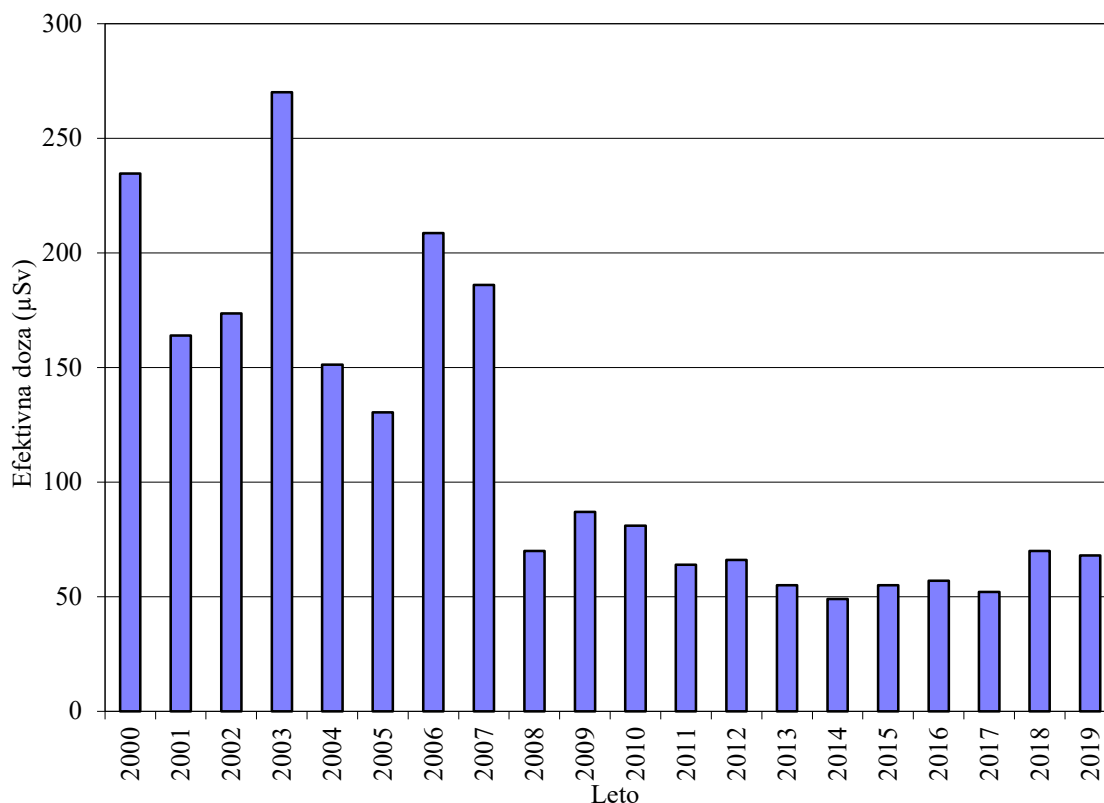
E = 68 ± 21 μSv za odraslega prebivalca,
E = 65 ± 20 μSv za otroka starega 10 let,
E = 74 ± 23 μSv za otroka starega 1 leto.

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2019 prejeli dozo $79 \pm 25 \mu\text{Sv}$. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje, so manj obremenjeni in so prejeli dozo $56 \pm 18 \mu\text{Sv}$. Negotovosti ocene doz so podane s faktorjem pokritja $k=2$.

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za obdobje 2008-2019 so si podobne in so bistveno nižje kot pred izvedenimi zapiralnimi deli. Znižanje doz v letu 2007 glede na leto 2006 je posledica spremenjene metodologije izračuna doze: namesto metodologije iz ICRP 50 [23][21], se je uporabila metodologija iz Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji [9] ter s tem zmanjšalo ravnovesni faktor na prostem na 0,4 iz 0,45. Sprememba metodologije je oceno doze znižala za okoli 20 %. Nižja doza po letu 2008 pa je posledica majhnega ocenjenega prispevka rudniškega radona.

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 23), 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 živijo 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 četrtnina, 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) ocenjujemo prispevek rudniškega radona po metodologiji iz [1], saj premajhna občutljivost merilnih metod ni več omogočala določanja prispevka iz rezultatov meritev. Ocenjeni prispevek rudniškega radona ni več četrtnina pač pa le še okoli 5 %.



Slika 23: 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 2019 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 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, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovščice (merski rezultati za enkratne vzorce na merilnem mestu MM Brebovščica PO) in znaša:

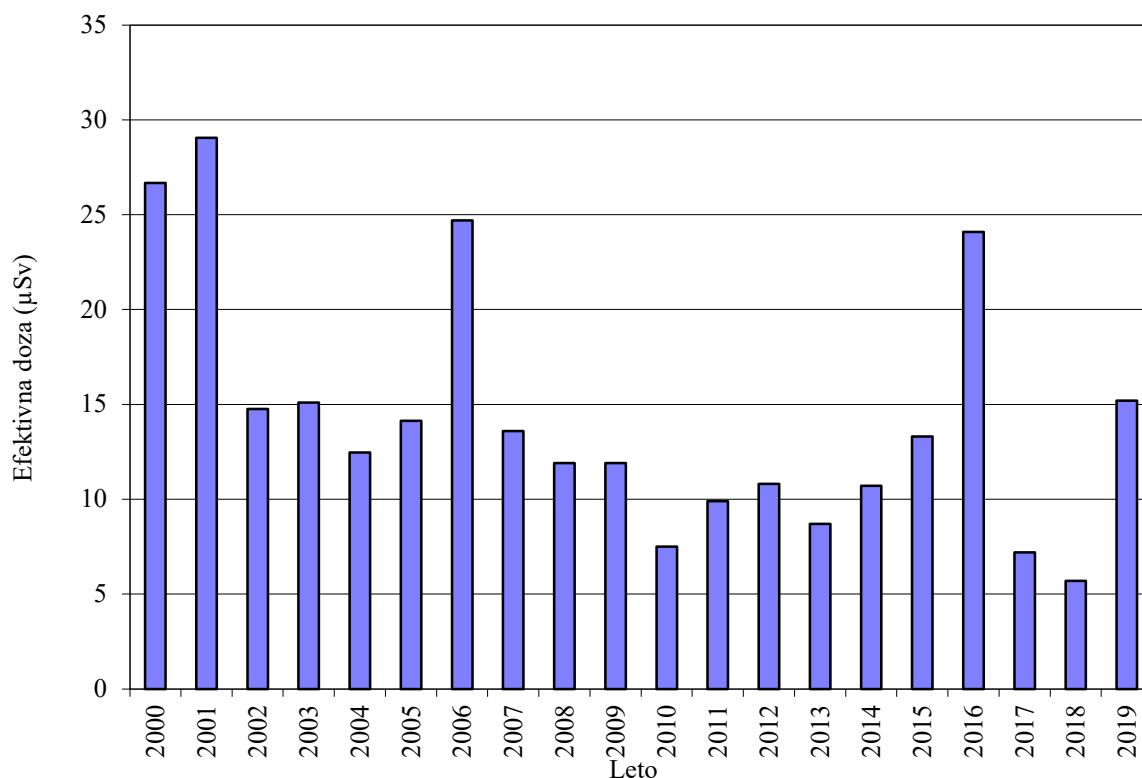
$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 15,2 \pm 2,4 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{\text{(ingestija, voda, otroci 10 let)}} = 17,2 \pm 2,7 \text{ } \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

$$E_{\text{(ingestija, voda, otroci 1 leto)}} = 13,6 \pm 2,1 \text{ } \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

Ker smo imeli za 2019 le merske rezultate za U-238 in Ra-226 na MM Brebovščica PO, smo za vrednosti Th-230, Po-210 in Pb-210 uporabili izmerjene vrednosti iz 2018.

Izračunana letna efektivna doza zaradi pitja vode je večja kot v preteklih letih (Slika 24) predvsem zaradi visoke izmerjene vrednosti U-238 v (v 2019: $309 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$, v 2018: $131 \pm 17 \text{ Bq/m}^3$). 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. Na voljo so le podatki za koncentracije izotopov v enkratnih vzorcih Brebovščice PO, pa še to v 2019 le za U-238 in Ra-226. Zaradi tega so možne velike variacije v oceni doze, saj je doza odvisna predvsem od časa vzorčenja ter pretoka Brebovščice v tem času. Za količine zaužite vode smo upoštevali [31].



Slika 24: Letne efektivne doze zaradi pitja vode (Brebovščica) za odraslega prebivalca iz okolice RŽV

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 2019 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 pretvorbena 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:

$$E = 1,1 \pm 0,3 \mu\text{Sv}.$$

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 pooblaščen 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 odlagališč ocenjujemo letno efektivno dozo zaradi zunanjega obsevanja na:

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

IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV

Skupno izpostavljenost prebivalstva virom sevanja iz virov RŽV 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 Brebovšice. 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 2019. Za prenosne poti, kjer ni na voljo merskih podatkov, doze nismo ocenjevali.

Tabela IV-1: Letna efektivna doza zaradi rudnika urana 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	0,0	0,0	0,0
	- samo Rn-222	$1,7 \pm 0,5$	$1,2 \pm 0,3$	$0,5 \pm 0,1$
	- Rn, kratkoživi potomci	68 ± 11	65 ± 10	74 ± 11
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi	(15,2)	(17,2)	(13,6)
	- ribe (Ra-226, Pb-210)	-	-	-
	- kmetijski pridelki – mleko (Ra-226, Pb-210)	-	-	-
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija)	$1,1 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,3$
	- γ sevanje dolgoživih radionuklidov	0,0	0,0	0,0
	- γ sevanje v okolici odlagališč	0,0	0,0	0,0

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2019 je:

71 $\mu\text{Sv} \pm 21 \mu\text{Sv}$ (0,071 \pm 0,021 mSv) za odraslega prebivalca

67 $\mu\text{Sv} \pm 19 \mu\text{Sv}$ (0,067 \pm 0,019 mSv) za otroka starega 10 let

75 $\mu\text{Sv} \pm 20 \mu\text{Sv}$ (0,075 \pm 0,020 mSv) 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 odstotkov 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 25 % avtorizirane mejne vrednosti.

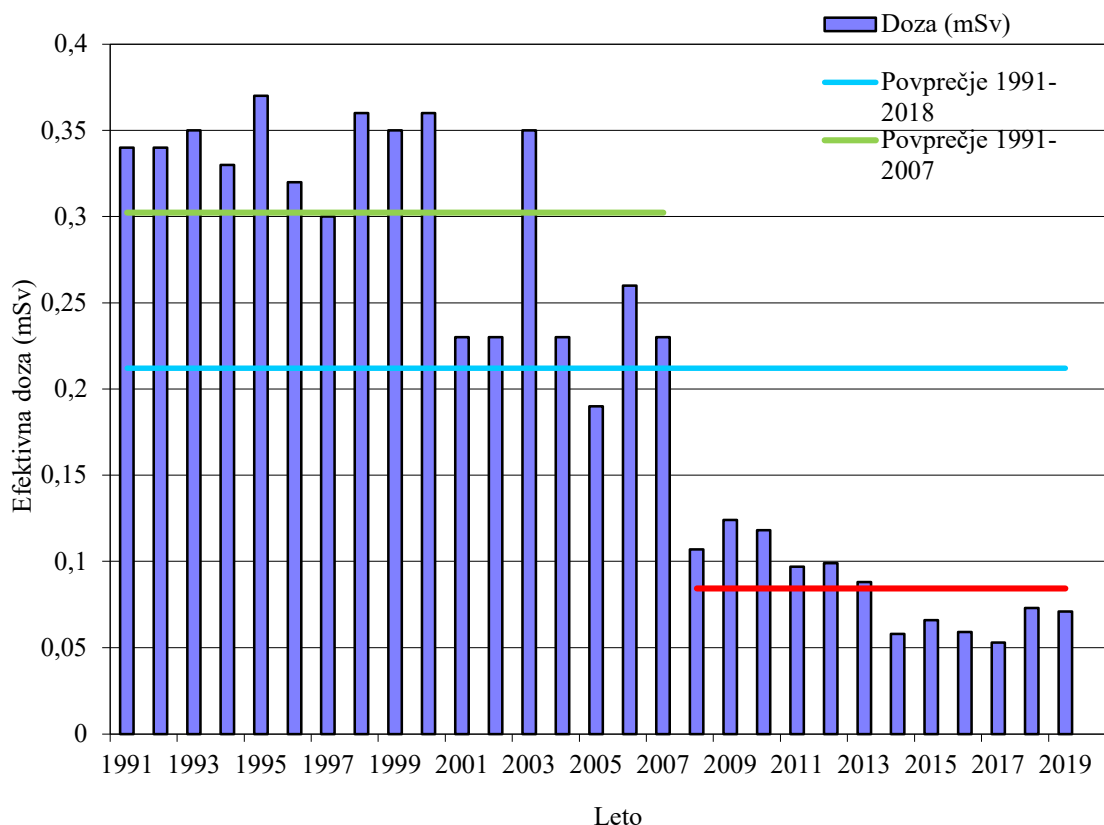
Letne efektivne doze odraslega prebivalca se gibljejo med 0,1 in 0,35 mSv (Slika 25). Po letu 2000 je viden pomik k nižjim vrednostim zaradi izvedenih del v obdobju 2000-2002, s katerimi so se zmanjšale emisije radona, ki največ prispeva k dozni obremenitvi prebivalstva. Po letu 2007 pri izračunu doz 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 učinkovne doze okoli 10 % višje. V letu 2009 smo spremenili metodologijo ocene prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona, saj z merskimi metodami po izvedenih zapiralnih delih, prispevka ni bilo več mogoče oceniti. V obdobju 2014-2015 je v prispevku k oceni doze zaradi uživanja hrane upoštevano le mleko, niso pa upoštevana ostala živila, za katera ni rezultatov meritev po letu 2005. Po letu 2016 ne ocenjujemo več doze zauživanja hrane, saj merskih podatkov ni.

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



Slika 25: Skupne letne učinkovne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV

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 RŽV v letu 2019 je $0,073 \pm 0,020$ mSv (kar je enako kot v 2018), tako da je celotna letna doza za prebivalca v okolici RŽV 5,6 mSv, pri čemer nista upoštevana prispevek černobilske kontaminacije in medicinskega obsevanja. V celotnem prispevku naravnega sevanja (brez medicinskega obsevanja in černobilske kontaminacije) znaša prispevek rudnika okoli 1 %.

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 2019.

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 Zdravstvenega inšpektorata RS iz 1996 in izmerjene vrednosti v programu nadzora

Parameter	Avtorizirane vrednost	Izmerjena vrednost v 2019
Dodatna letna efektivna ekvivalentna doza	0,3 mSv/leto	0,071 mSv
Izhajanje radona iz površin zunanjih jamskih objektov in odlagališča Jazbec v povprečju ne sme preseči vrednosti	< 0,1 Bq/m ² .s	0,016 Bq/m ² .s
Izhajanje radona iz površin odlagališča Boršt	< 0,7 Bq/m ² .s	0,047 Bq/m ² .s
Hitrost doze zunanjega	< 200 nGy/h	Do 151 nGy/h na robu

sevanja na področju zunanjih jamskih objektov ter odlagališč Jazbec in Boršt		odlagališča Jazbec, do 169 nGy/h na površini odlagališča Boršt
U ₃ O ₈ v iztoku jamske vode	povprečna letna koncentracija U ₃ O ₈ < 300 mg/m ³	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.
U ₃ O ₈ v iztoku izcedne vode odlagališč Jazbec (po točki mešanja)	povprečna letna koncentracija < 600 mg/m ³	<p>Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.</p> <p>Enkratni vzorec MM kanal Jazbec po točki mešanja z dne 22.10.2019: koncentracija U-238: 950 ± 64 Bq/m³ = 76,6 ± 5,1 µg/l Koncentracija U₃O₈: 250 ± 18 mg/m³</p>
Ra-226 v iztoku jamske vode	povprečna letna specifična aktivnost < 60 Bq/m ³	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ

		<p>ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.</p> <p>Enkratni vzorec z dne 22.10.2019: $47,5 \pm 4,0$ Bq/m³</p>
Ra-226 v iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec (po točki mešanja)	Povprečna letna specifična aktivnost < 40 Bq/m ³	<p>Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR)). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.</p> <p>Enkratni vzorec MM Kanal Jazbec po točki mešanja z dne 22.10.2019: $12,7 \pm 1,3$ Bq/m³</p>
V skupnem iztoku izcednih voda odlagališča Boršt letna specifična aktivnost Ra-226 ne sme preseči vrednosti 60 Bq/m ³ ,	60 Bq/m ³	10,4 Bq/m ³ (Podatki RŽV d.o.o. za BPG)
Iztok jamske vode letna masa urana (U ₃ O ₈) 200 kg	200 kg	<p>Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR)). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.</p>

Iztok jamske vode letna aktivnost Ra-226 50 MBq	50 MBq	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.
Masa urana (U_3O_8) v iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec (po točki mešanja)	100 kg/leto	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.
Aktivnost Ra-226 v iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec (po točki mešanja) letna	25 MBq/leto	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede, primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.
Izcedne vode odlagališča Boršt, letna aktivnost Ra-226	50 MBq	3,32 MBq (Podatki RŽV d.o.o. za BPG)
Skupna specifična aktivnost Th-230, Pb-210 in Po-210 v posameznih vzorcih vode v iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec (kanal Jazbec, po točki mešanja) ne sme presegati vrednosti 100 Bq/m ³	100 Bq/m ³	Ni ustreznih meritev. V programu je meritev enkratnega vzorca (glej poglavje (II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR). Tudi če se meritev enkratnega vzorca izvede,

		primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča.
--	--	---

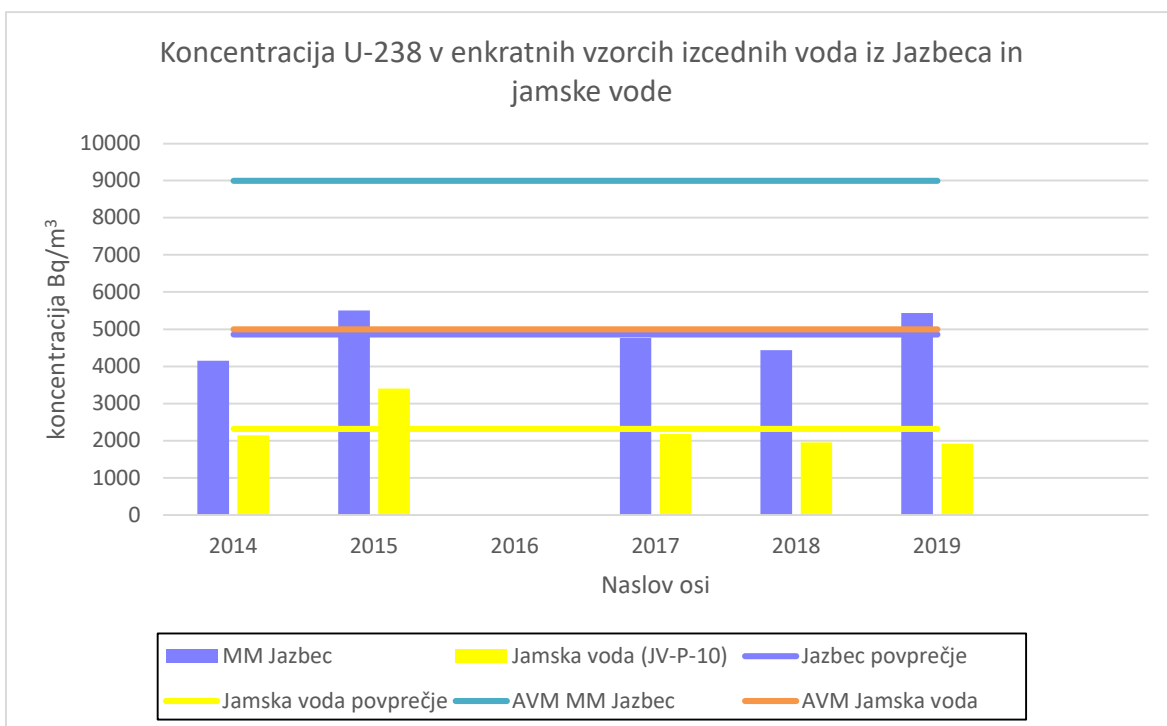
Dne 24,9,2019 je Uprava RS za jedrsko varnost izdala Odločbo o spremembi varnostnega poročila odlagališča rudarske jalovine Jazbec (v poglavju 14.2.) v skladu z dokumentom »Dopolnitev varnostnega poročila - odlagališče rudarske jalovine Jazbec rev. A-4, Poglavje 14A: Dolgoročni nadzor po zaprtju (št. 05-01-002, junij 2019) številka 3570-2/2019/9. V odločbi so odobrene nove avtorizirane mejne vrednosti emisij iz zaprtega odlagališča Jazbec in v iztoku jamske vode za obdobje dolgoročnega nadzora (Tabela V-2).

Tabela V-2: Avtorizirane mejne vrednosti po odločbi Uprave RS za jedrsko varnosti iz 2019 in izmerjene vrednosti v programu nadzora

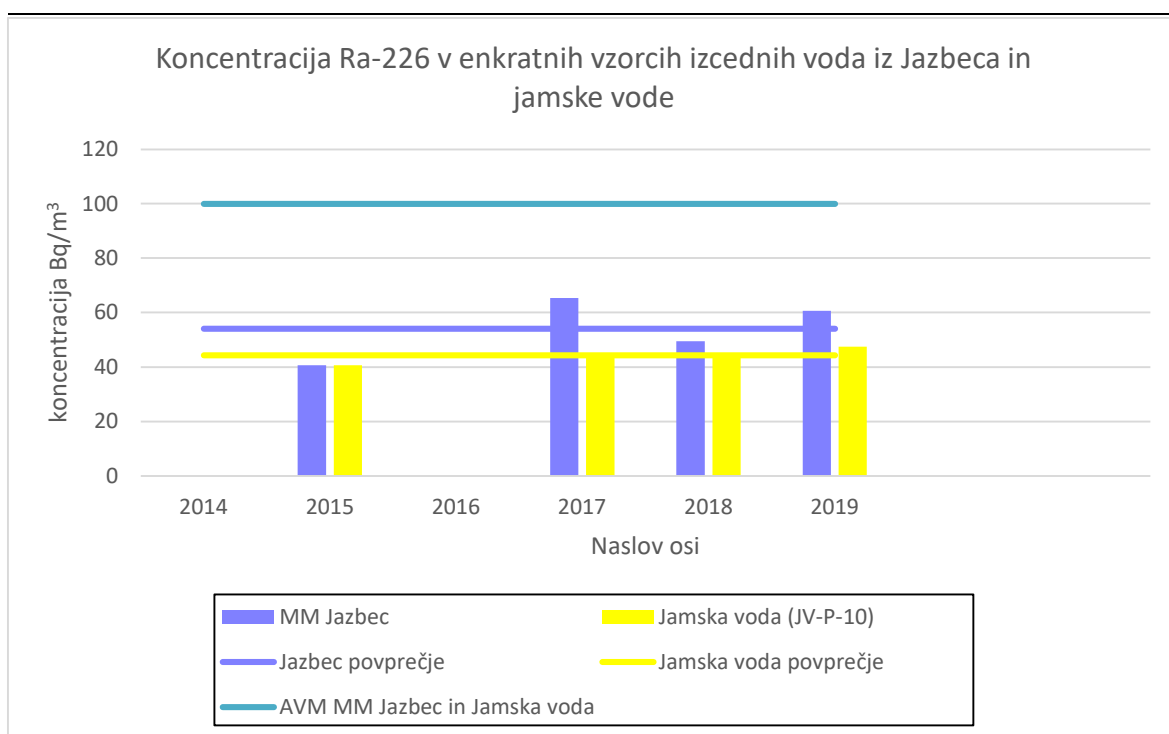
PARAMETER	TOČKA VZORČENJA/ MERILNO MESTO	AMV	Izmerjena vrednost v 2019
Dodatna letna efektivna doza (zaradi vseh objektov RŽV)	N.A.	0,3 mSv/leto	0,071 ± 0,021 mSv
Koncentracija radona	MP Jazbec	50 Bq/m ³	41 ± 6 Bq/m ³
Hitrost doze zunanjega sevanja gama (približno 1 m nad tlemi)	Celotna površina odlagališča	0,2 µSv/h	0,15 µSv/h
Specifična aktivnost ²³⁸ U v tekočih izpustih	MM Jazbec – Iztok vode iz prepusta pod odlagališčem Jazbec	9000 Bq/m ³	5433 ± 308 Bq/m ³
	JV-P-10 – iztok jamske vode	5000 Bq/m ³	1918 ± 111 Bq/m ³
Specifična aktivnost ²²⁶ Ra v tekočih izpustih	MM Jazbec – Iztok vode iz prepusta pod odlagališčem Jazbec	100 Bq/m ³	60,7 ± 5,6 Bq/m ³
	JV-P-10 – iztok jamske vode	100 Bq/m ³	47,5 ± 4,0 Bq/m ³
Specifična aktivnost ²³⁰ Th v tekočih izpustih	MM Jazbec – Iztok vode iz prepusta pod odlagališčem Jazbec	5 Bq/m ³	0,08 ± 0,02 Bq/m ³
	JV-P-10 – iztok jamske vode	5 Bq/m ³	0,11 ± 0,02 Bq/m ³
Specifična aktivnost ²¹⁰ Pb v	MM Jazbec – Iztok vode iz prepusta pod odlagališčem	50 Bq/m ³	35,1 ± 1,4 Bq/m ³

tekočih izpustih	Jazbec		
	JV-P-10 – iztok jamske vode	50 Bq/m ³	9,7 ± 0,9 Bq/m ³

Primerjava izmerjenih in avtoriziranih mejnih vrednosti (AVM) v enkratnih vzorcih vod iz odlagališča Jazbec in jamske vode za U-238 in Ra-226 so na slikah (Slika 26, Slika 27).



Slika 26: Primerjava izmerjenih in avtoriziranih mejnih vrednosti za U-238 v enkratnih vzorcih voda iz odlagališča Jazbec in jamske vode



Slika 27: Primerjava izmerjenih in avtoriziranih mejnih vrednosti za Ra-226 v enkratnih vzorcih voda iz odlagališča Jazbec in jamske vode

Tako za enkratne vzorce voda iz odlagališč, kot tudi za druge vzorce in skupno dozo so izmerjene in ocenjene vrednosti za odlagališče Jazbec nižje od avtoriziranih mejnih vrednosti iz odločbe Uprave RS za jedrsko varnosti iz leta 2019.

VI. ZAKLJUČKI IN OCENA RADIOLOŠKIH VPLIVOV RUDNIKA URANA PO KONČANEM OBRATOVANJU NA OKOLJE V LETU 2019

V tem poglavju podajamo oceno vplivov RŽV 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. Dela končne ureditve so v zaključni fazi tudi na območju odlagališča Boršt, na ostalih objektih pa so že zaključena

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 usedenje 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.

V fazi zapiranja rudnika se je doza zaradi inhalacije radioaktivnih aerosolov še bistveno zmanjšala v primerjavi z obratovalnim obdobjem. V času obratovanja (1985-1990) je bila koncentracija urana ali Ra-226 v zraku 0,05-0,10 mBq/m³. Po ustavitvi drobljenja in predelave rude se je koncentracija zmanjšala na 0,01-0,02 mBq/m³. Koncentracija Pb-210 se ni bistveno spremenila, ker je odvisna predvsem od količine radona v ozračju.

Po zaprtju rudniških objektov so vrednosti U-238 in Ra-226 v okviru naravnega ozadja ob upoštevanju merilne negotovosti meritev [20].

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/m³).

V obdobju 2014-2016 so se izvajale meritve koncentracije radona na 5 lokacijah v dolini Brebovščice, pred tem na 9 lokacijah. Po 2016 se meritev v dolini Brebovščice ni več izvajalo oziroma se izvajajo le še na treh lokacijah (Todraž, Gorenja Dobrava, Gorenja vas).

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

Povprečne letne vrednosti koncentracij Rn-222 se v dolinah Brebovščice in Todraščice gibljejo med 25-30 Bq/m³, v dolini reke Sore pa okoli 20 Bq/m³. Koncentracije radona so povišane zlasti v dolinah Brebovščice in Todraščice. Radonski tok nato potuje s Poljansko Soro navzdol in ne seže po toku navzgor do Gorenje vasi. V ozkem pasu se ob reki razteza do razdalje 3-4 km od rudnika [33]. Meritve v preteklih letih (2009-2010) so pokazale, da obstajajo lokacije z naravno povišanimi koncentracijami radona predvsem na površini severovzhodnega pobočja masiva Žirovskega vrha.

Pomemben vpliv na koncentracijo radona in s tem na oceno prispevka k dozi, imajo vremenske razmere. V primeru temperaturne inverzije so lahko koncentracije radona bistveno večje kot v primeru normalnih vremenskih razmer. Na koncentracije radona v Gorenji vasi imajo verjetno vpliv zračni tokovi, ki pritečejo po dolini reke Sore navzdol oziroma po pobočjih nad merilno postajo v Gorenji vasi.

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 letu 2009 so 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 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 in Brebovščici 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.

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so po 2009 nižje od povprečja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so bile v letih 2007 in 2008 višje od povprečja po koncu obratovanja rudnika, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih.

V sedimentih v Todraščici PO se koncentracije Ra-226 povečujejo od 2014. 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.

Program nadzora v skladu z odločbo URSJV iz leta 2019 ne predvideva več meritev radioaktivnost v sedimentih iz Jazbeca in Brebovščice. Menimo, da bi bile te meritve upravičene in smiselne saj bi se morebitno slabšanje ali puščanje prekrivke na Jazbecu z meritvami sedimentov bistveno lažje in prej ugotovilo kot z meritvami raztopljenega U-238 ali Ra-226 v enkratnih vzorcih vod. Predlagamo, da se v program nadzora odlagališča Jazbec vključi tudi meritve sedimentov v Kanalu Jazbec in Brebovščici PO.

5. Pri kmetijskih pridelkih je morebitne vplive rudnika težje določiti. Nalogo še oteži uporaba mineralnih gnojil z večjo vsebnostjo dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste. Do kontaminacije kmetijskih pridelkov pride predvsem po zračni prenosni poti. Radioaktivni delci se usedajo na zunanje dele rastlin ali na zemljo, od koder pridejo v globino in preko korenin v rastlino. Za mleko ni merskih podatkov o vsebnosti radionuklidov od leta 2014, za ostale kmetijske pridelke pa že od leta 2005. Zato doze po prehrabeni prenosni poti od 2016 ne ocenjujemo več.

6. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v času obratovanja rudnika ta prispevek znašal le 0,01 % skupne radioaktivnosti vorni 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 1,1 μ Sv.

Skupno znaša delež zunanjega gama sevanja iz virov RŽV okoli 1 %.

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referenčne skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2019 ocenili na 0,071 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,067 mSv in za otroke stare 1 leto 0,076 mSv. Značilen je padec doz po letu 2000 in nato ponovno po 2007. V letu 2007 smo pri oceni doze začeli uporabljati novo metodologijo in ocenili doze za tri starostne skupine: odrasle, otroke stare 10 let in otroke stare 1 leto. Po letu 2008 merski podatki niso več zadoščali za zanesljivo oceno doze, ki jo povzročajo viri iz RŽV. Zato smo za oceno doze po zračni prenosni poti zaradi radona in potomcev začeli uporabljati modelski pristop.

Izračunani dodatni prispevek k efektivni dozi okolišnega prebivalstva, zaradi posledice rudarjenja in predelave uranove rude, je po letu 2008 nekajkrat manjši od ocen pred tem. Na zmanjšanje vplivajo obsežna zapiralna dela in verjetno tudi spremenjene klimatske razmere, ki vplivajo na razširjanje radona iz rudniških virov. Prejeta doza (0,071 mSv) predstavlja približno pet odstotkov letne doze za prebivalstvo, ki jo določajo predpisi Republike Slovenije in mednarodna priporočila oz. 25 % avtorizirane mejne vrednosti letne doze, ki znaša 0,3 mSv.

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

Podajam predlog glede meritev sedimentov v sklopu nadzora odlagališča Jazbec:

Program nadzora v skladu z odločbo URSJV iz leta 2019 ne predvideva več meritev radioaktivnost v sedimentih iz kanala Jazbec in Brebovščice. Menimo, da bi bile te meritve upravičene in smiselne saj bi se morebitno slabšanje ali puščanje prekrivke na Jazbecu z meritvami sedimentov bistveno lažje in prej ugotovilo kot z meritvami raztopljenega U-238 ali Ra-226 v enkratnih vzorcih vod. Predlagamo, da se v program nadzora odlagališča Jazbec vključi tudi meritve sedimentov na MM Kanal Jazbec in MM Brebovščici PO.

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

Merilno mesto	Koncentracija 1. polletje 31.1.2019-10.7.2019 Bq/m ³		Koncentracija 2. polletje 10.7.2019 - 8.1.2020 Bq/m ³		Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
DOLINA BREBOVŠČICE					
Pod transportnim trakom	ni izvedenih meritev v 2019				
Todraž	26 ± 4		34 ± 5		30 ± 5
Gorenja Dobrava	21 ± 3		32 ± 5		27 ± 4
Gorenja Dobrava povprečje					
Gorenja vas (MP, Brence)	23 ± 3		24 ± 4		
Gorenja vas (MP, Brence)	16 ± 2		29 ± 4		
Gorenja vas (MP, Brence)	15 ± 2		26 ± 4		
Gorenja vas (MP, Brence) povprečje	18 ± 2		26 ± 4		22 ± 3
	3.1.-1.4.19	4.1.-28.6.19	28.6.-30.9.19	30.9.19-7.1.20	
ZVD- Ljubljana*	18 ± 3	9 ± 1	16 ± 2	31 ± 5	19 ± 3

* primerjalna lokacija

DOLINA TODRAŠČICE

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrletje 3.1.-1.4.19 Bq/m ³	Koncentracija 2. četrletje 4.1.-28.6.19 Bq/m ³	Koncentracija 3. četrletje 28.6.-30.9.19 Bq/m ³	Koncentracija 4. četrletje 30.9.19-7.1.20 Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje
Bačenski mlin	38 ± 6	26 ± 4	44 ± 7	40 ± 6	37 ± 6
Debelo Brdo	13 ± 2	< 5	15 ± 2	17 ± 3	15 ± 3

Tabela V.1.1. nadaljevanje, Četrtna povprečja koncentracije Rn-222, merjena z detektorji sledi

JALLOVIŠČE JAZBEC

Merilno mesto	Koncentracija 1. polletje 31.1.2019-10.7.2019 Bq/m ³		Koncentracija 2. polletje 10.7.2019 - 8.1.2020 Bq/m ³		Koncentracija letno povprečje
	MP Jazbec	34 ± 5		51 ± 8	
MP Jazbec	30 ± 5		48 ± 7		
MP Jazbec	30 ± 5		54 ± 8		42 ± 7
MP Jazbec*, povprečje	31 ± 5		51 ± 7		41 ± 6
MM SV brežina Jazbec	17 ± 3		15 ± 2		16 ± 3
	17 ± 3		21	3	19
MM SV brežina Jazbec	16 ± 2		23 ± 3		20
MM SV brežina Jazbec, povprečje	17 ± 3		20 ± 2		18 ± 2

* Do 2013 je bilo merilno mesto MP Jazbec imenovano SV brežina odlagališča MP Jazbec spodaj

JALLOVIŠČE BORŠT

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrtnetje 3.1.-1.4.19 Bq/m ³	Koncentracija 2. četrtnetje 4.1.-28.6.19 Bq/m ³	Koncentracija 3. četrtnetje 28.6.-30.9.19 Bq/m ³	Koncentracija 4. četrtnetje 30.9.19-7.1.20 Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
---------------	--	---	--	---	---

Boršt, ovinek-most	27 ± 4	17 ± 3	31 ± 5	26 ± 4	25 ± 4
Boršt etaža	22 ± 3	10 ± 2	16 ± 2	27 ± 4	19 ± 3
MP Boršt	33 ± 5	22 ± 3	30 ± 5	36 ± 5	30 ± 5
Kozolec Potokar	25 ± 4	19 ± 3	11 ± 2	36 ± 5	23 ± 4

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 2019

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
I. kvartal		0,53	41,2 ± 2,7	0,10
II. kvartal		0,57	38,3 ± 2,9	0,10
III. kvartal		0,15	59,3 ± 4,4	0,03
IV. kvartal		1,16	45,0 ± 4,3	0,21
Povprečje		0,60	46 ± 3	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 2019

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
I. kvartal		0,53	1,6 ± 0,2	0,10
II. kvartal		0,57	1,8 ± 0,2	0,10
III. kvartal		0,15	2,4 ± 0,3	0,03
IV. kvartal		1,16	2,3 ± 0,4	0,21
Povprečje		0,60	2,0 ± 0,2	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 2019

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal		0,53	8,8 ± 0,7	0,10
II. kvartal		0,57	8,1 ± 0,6	0,10
III. kvartal		0,15	6,8 ± 0,6	0,03
IV. kvartal		1,16	10,1 ± 0,7	0,21
Povprečje		0,60	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 2019

Datum odvzema vzorca: 22.10.2019

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Todraščica pred	6,2 ± 0,5	3,2 ± 0,4	ni izvedeno		
Todraščica po	59,2 ± 3,3	3,0 ± 0,4	12,1 ± 0,8	4,2 ± 0,3	0,05 ± 0,0

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Datum odvzema vzorca: 22.10.2019

Meritve so v programu nadzora odlagališča Jazbec

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Brebovščica pred	4,8 ± 0,4	2,0 ± 0,3			
Brebovščica po	309 ± 19,0	9,1 ± 1,0			
Brebovščica, MM Gorenja Dobrava	156 ± 9	4,3 ± 0,5			

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Tabela V.2.5 Koncentracija raztopljenih U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 in Th-230 venkratnih vzorcih vod v letu 2019 iz odlagališča Jazbec

Vzorčenje enkratnega vzorca izvedeno 22.10.2019

Meritve so v programu nadzora odlagališča Jazbec

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-230
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
MM Jazbec	5433 ± 308	60,7 ± 5,6	35,1 ± 1,4	0,08 ± 0,02
MM Kanal Jazbec, pred točko mešanja	±	±	±	±
MM Kanal Jazbec, po točki mešanja	950 ± 63	12,7 ± 1,3		
JV-P-10	1918 ± 111	47,5 ± 4,0	9,7 ± 0,9	0,11 ± 0,02

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 venkratnih vzorcih vod v letu 2019 iz odlagališča Boršt

Vzorčenje enkratnega vzorca izvedeno 22.10.2019

Meritve so v programu nadzora odlagališča Boršt

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Boršt, BPG	1073 ± 61	16,4 ± 1,6	9,5 ± 1,4	4,2 ± 0,3

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Meritve radioaktivnosti podtalnice v okolju RŽV

Tabela V.2.6 Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v
vrtinah na lokaciji RŽV (Jazbec) in v okoliških vodnjakih v letu 2019
Datum odvzema vzorca: 22.10.2019

	U-238	Ra-226
Oznaka vrtine	Bq/m ³	Bq/m ³
BS 30	30,9 ± 2,7	4,8 ± 0,6
IZVIR-1	7,1 ± 0,6	0,48 ± 0,14
PZ-JA-1	7931 ± 437	112,6 ± 9,9
PZ-JA-2	10877 ± 592	20,2 ± 1,9
PZ-JA-3	59525 ± 3225	100,5 ± 8,9
PZ-JA-4	418 ± 26	42,6 ± 3,9
BS-27	2644 ± 155	15,9 ± 1,7

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 2019

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

1. poletje: Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 3.1.2019-2.7.2019

2. poletje: Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 2.7.2019-6.1.2020

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	3.1.2019-2.7.2019			2.7.2019-6.1.2020		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	70	±	5	59	±	5
Ra-226	84	±	8	86	±	8
Pb-210	79	±	5	83	±	5
Th-230	71	±	26	168	±	40

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 2019

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzorčenja	6.05.2019			1.10.2019		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	120	±	7	219	±	8
Ra-226	127	±	12	139	±	13
Pb-210	108	±	8	108	±	17
Th-230	101	±	19	114	±	25

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 2019.

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

Datum odvzema vzorca: 25.7.2019

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg suhega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt, seno	< 8,1	4,9 ± 2,7	33,0 ± 7,0

Meritve izvedel IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

Datum odvzema vzorca: 30.06.2019

Lokacija (seno)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Gorenja Dobrava	< 8,4	< 5,2	12,6 ± 5,6

Meritve izvedel IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

Datum odvzema vzorca: 30.06.2019

Lokacija	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt, lišaj	< 50,7	38,2 ± 1,8	4957 ± 387

Meritve izvedel ZVD

V.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanje sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

Tabela V.5.1 Kvartalne doze zunanje sevanja gama v okolici RŽV v 2019

Rezultati so podani v mSv

	1. polletje		2. polletje		Letna doza
<i>MM SV brežina</i>	0,642		0,652		1,294
<i>MP Jazbec</i>	0,674		0,590		1,264
	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	
<i>MM Boršt</i>	0,343	0,349	0,363	0,342	1,397
<i>Boršt etaža</i>	0,340	0,341	0,365	0,395	1,441

** lokacija uvedena namesto lokacije Todraž po prvem kvartalu 2014

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 2010-2018.
- [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 86/2018.
- [13] Lokacijska dokumentacija št. 531-4/231/76-34/L14 z dne 24.04.1996.
- [14] A. R. Byrne, L. Benedik, Determination of uranium at trace levels by radiochemical neutron-activation analysis employing radio isotopic yield evaluation, *Talanta* 35 (1988), 161-166.
- [15] Lozano, J.C., Fernandez, F., Gomez, J.M. Determination of radium isotopes by BaSO₄ coprecipitation for the preparation of alpha-spectrometric sources, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol.223, No.1-2 (1997), 133-137.
- [16] BENEDIK, Ljudmila, VREČEK, Polona. Determination of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in environmental samples. *Acta chim. slov.*, 2001, no. 2, vol. 48, str. 199-213.
- [17] Eichrom Technologies. Analytical Procedures, Thorium in Water. ACW10, Rev. 1.0
- [18] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poročila IJS 1990-1995.
- [19] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [20] Poročila o monitoringu radioaktivnosti v življenjskem okolju RS, 1964-2018, ZVD
- [21] Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
- [22] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 137, Ann. ICRP 46 (3/4), 2017, Pergamon Press, New York.
- [23] Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, 1993, Pergamon Press, New York.
- [24] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
- [25] M.J. Križman, Metodologija za ocenjevanje doz sevanja za referenčne skupine prebivalstva na območju RŽV, RŽV, 2008.
- [26] Age dependent Doses to Members 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 of Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [29] J. Rojc, Prehrabene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
- [30] Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose 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. Štok, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2007
- [35] P. Jovanovič, G. Omahen, Ovrednotenje merskih podatkov radioaktivne kontaminacije vzorcev krme za leto 2014, št. poročila LMSAR-20140018-PJ, ZVD, 2014.
- [36] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in temperate Environments, Technical Report No. 364, IAEA 1994.
- [37] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial 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

