

Center za fizikalne meritve

Št.: LMSAR-72/2017-GO

Datum: 04.04.2017

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA
ŽIROVSKI VRH MED IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE
ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT
TER
OCENA IZPOSTAVLJENOSTI PREBIVALCEV V VPLIVNEM
OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH
POROČILO ZA LETO 2016**



Ljubljana, april 2017

Avtor: Gregor Omahen

| | |
|----------------------------|---|
| Naročnik: | RUDNIK ŽIROVSKI VRH, javno podjetje za zapiranje rudnika urana, d.o.o Todraž 1, 4224 Gorenja vas |
| Izvajalci meritev: | ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o. Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana Polje Institut »Jožef Stefan« Jamova 39 1000 Ljubljana ERICo Velenje Inštitut za ekološke raziskave d.o.o. Koroška cesta 58 3320 Velenje |
| Naročilnica številka: | 129/4/17 z dne 10.03.2017 |
| Nosilec naloge: | dr. Gregor Omahen |
| Naslov poročila: | Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt ter ocena izpostavljenosti prebivalcev v vplivnem okolju Rudnika urana Žirovski vrh, poročilo za leto 2016 |
| Avtor poročila: | dr. Gregor Omahen, univ.dipl.fiz. |
| 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, doc. dr. Ljudmila Benedik, doc.dr. Zvonka Jeran, dr. Benjamin Zorko, dr. Marijan Nečemer, dr. Miha Trdin, mag. Branko Vodenik, Janja Smrke, Leja Rovar |
| Slika na naslovni strani: | Center za dolgoročno upravljanje Rudnika Žirovski vrh, pogled z odlagališča Jazbec, foto Hiacinta Klemenčič |
| Kopije: | Naročnik (6 x) Arhiv CFM (1x) Nosilec naloge (1 x) IJS (2 x) |

NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH MED
IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT TER OCENA
IZPOSTAVLJENOSTI PREBIVALCEV V VPLIVNEM OKOLJU RUDNIKA URANA
ŽIROVSKI VRH, POROČILO ZA LETO 2016**

Avtorji

dr. Gregor Omahen

KLJUČNE BESEDE:

Rudnik urana, 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 2016 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,059 mSv, za otroka starega 10 let 0,056 mSv in za otroka starega 1 leto 0,063 mSv, kar predstavlja približno 5 % dovoljene letne doze za prebivalstvo.

REPORT TITLE:

**MEASUREMENTS OF THE RADIOACTIVITY IN THE ŽIROVSKI VRH URANIUM
MINE ENVIRONMENT AND ASSESSMENT OF ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS**

Authors:

Gregor Omahen, Ph.D

KEYWORDS

Uranium mine, 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 because of uranium mine for adult inhabitant in the year 2016 was about 0,059 mSv, for 10 years old child 0,056 mSv and for 1 year old child 0,063 mSv. This represents approximately 5 % of recommended dose limit for public exposure.

KAZALO

| | |
|--|-----------|
| UVOD | 7 |
| I. METODE MERJENJA | 10 |
| I.1 ZRAK | 10 |
| I.2 VODE | 10 |
| I.3 SEDIMENTI..... | 11 |
| I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA..... | 12 |
| II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI..... | 13 |
| II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2016 13 | |
| II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA BORŠT..... | 17 |
| II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC – DOLGOROČNI NADZOR | 21 |
| II.4 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠČA JAZBEC (NADZOR OKOLJA) | 22 |
| III. OVREDNOTENJE REZULTATOV..... | 23 |
| III.1 ZRAK..... | 23 |
| III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210..... | 23 |
| III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju | 23 |
| III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov..... | 33 |
| III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA | 35 |
| III.2.1 Vodotoki | 35 |
| III.2.2 Podtalnica | 41 |
| III.3 SEDIMENTI | 42 |
| III.4 MLEKO..... | 45 |
| III.5 RIBE | 45 |
| III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA..... | 46 |
| IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA | 50 |
| IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI | 50 |
| IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku..... | 50 |
| IV.1.2 Rn-222, inhalacija..... | 51 |
| IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija | 51 |
| IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI..... | 53 |
| IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana | 53 |
| IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda | 53 |
| IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA..... | 54 |

Izbrisan

Izbrisan

| | | |
|--------------|---|------------------|
| IV.3.1 | Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi..... | <u>54</u> |
| IV.3.2 | Radon-222 in radonovi potomci..... | 55 |
| IV.3.3 | Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč..... | 55 |
| IV.4 | IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV..... | <u>55</u> |
| IV.5 | IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV | 58 |
| V. | PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI Z AVTORIZIRANIMI VREDNOSTMI..... | <u>58</u> |
| VI. | ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE | <u>62</u> |
| VII. | PREDLOGI..... | <u>66</u> |
| VIII. | REZULTATI MERITEV | <u>68</u> |

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 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 je program nadzora radioaktivnosti v okolici 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 je naveden v Varnostnem poročilu za odlagališče rudarske jalovine Jazbec. V primerjavi s programom, ki se je izvajal v obdobju 1992-2005, se po letu 2005 ne izvajajo redne vsakoletne meritve radioaktivnosti v hrani in ribah, mesečne meritve koncentracije radona s kasetami na aktivno oglje, meritve koncentracije radonovih razpadnih produktov, meritve ekshalacije radona, meritve koncentracije radionuklidov v zemlji in meritve koncentracije radionuklidov v krmi oziroma se nekatere od teh meritev izvede občasno. Prav tako je bil obseg meritev koncentracij radionuklidov v sedimentih, vodi in meritev zunanjega sevanja precej zmanjšan. Opuščena so bila vzorčenja in analize, pri katerih so bile vrednosti analiz vzorcev v preteklih letih na meji detekcije uporabljenih metod, prispevki k dozi pa majhni oziroma zanemarljivi in se v zadnjih letih niso spreminjali. Pri vseh je bil opazen trend upadanja zaradi opustitve izvajanja del in postopnega saniranja rudniških objektov.

V letu 2016, tretjem letu, ko se izvaja program dolgoročnega okoljskega monitoringa odlagališča Jazbec in šesto leto po zaprtju odlagališča Boršt, je bil predviden program monitoringa 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 4. letu po zaprtju odlagališča (dokument URSJV št. 3540-1/2015/38 z dne 13. 1. 2016), saj ukrepi iz tehničnega pregleda odlagališča hidrometalurške jalovine še niso bili izvedeni v celoti. RŽV se je pri izvajanju monitoringa odlagališča Boršt ravnal po »Navodilu za izvajanje nadzora odlagališča HMJ Boršt in ostalih saniranih površin RŽV (Tehnični sektor RŽV, B. Likar, 2. 12. 2015).

V letu 2015 je Agencija za radioaktivne odpadke prevzela v upravljanje odlagališče Jazbec v skladu z Uredbo 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), medtem, ko odlagališče Boršt upravlja RŽV d.o.o. Odlagališče Jazbec ni več sevalni objekt.

Po pojasnilih predstavnikov RŽV so v letu 2016 izvajali celoten dogovorjen program monitoringa za odlagališče Boršt, medtem ko program za odlagališče Jazbec ni bil izveden v celoti.

V letu 2016 so bile v programu imisijskega monitoringa meritve koncentracije radona z detektorji sledi na lokacijah v dolini Brebovščice: Todraž, Pod transportnim trakom, Gorenja Dobrava in Gorenja vas. Predvidene so bile polletne meritve v mesecih IV-IX in X-III, ali če to ni mogoče, četrletne meritve.

Meritve ekshalacije radona na odlagališčih Jazbec in Boršt v letih 2015, 2014 in 2013 je izvedel Rudnik Žirovski vrh sam, v 2016 jih je izvedel le na odlagališču Boršt, ki sodi pod upravljanje RŽV d.o.o. Meritev ekshalacije v 2016 na odlagališču Jazbec, ki sodi v upravljanje Agencije za radioaktivne odpadke, ni bilo izvedenih. V letih pred tem je bil določen del meritev izveden skupaj s pooblaščenno organizacijo, kar je omogočalo nek nadzor oziroma potrditev rezultatov.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2016 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Todraščice, medtem ko lokacije iz Brebovščice niso bile v programu. V programu za leto 2016 so bile tudi meritve enkratno odvzetih vzorcev vode v Brebovščici v Gorenji Dobravi (lokacija BREBOVŠČICA PO). 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. 49, 2004, [6]).

V letu 2016 so bila 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). Meritev v 2016 ni bilo izvedenih. Podobno so bile v programu meritev imisij odlagališča Jazbeca 2016 vzorci podtalnice v vodnjaku v Mrzlek in v vrtini BS-30, a niso bile izvedene.

V letu 2016 so bile izvedene meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih v Brebovščici, Todraščici in Sori. V Brebovščici PO in Sori PO so izvedene meritve v skladu z dogovorom iz leta 2013 med RŽV, d.o.o. (Hiacinta Klemenčič) in URSJV (dr. Barbara Vokal Nemeč), saj sicer niso predvidene v programu iz Dopolnitve varnostnega poročila za Odlagališče rudarske jalovine, Rev. A. v Prilogi 14.7: Program monitoringa radioaktivnosti v

okolju RUŽV in ocena izpostavljenosti prebivalstva v prehodnem (petletnem) obdobju po končni ureditvi odlagališč Jazbec in Boršt ter jame. Interval vzorčenja sicer ne pokriva obdobjega celega leta (1.1.-31.12.).

V letu 2016 ni bilo v programu meritev radioaktivnosti v vzorcih rib. Nazadnje se je v letu 2014 izvedlo meritve v ribah iz Brebovščice po vtoku voda iz rudniških objektov, v ribah iz Poljanske Sore in v ribah iz Selške Sore, ki predstavljajo referenčni vzorec.

V 2016 so se izvajale meritve zunanjega sevanja gama s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališču Jazbec in Boršt. Pogostost meritev je bila kvartalna. Na odlagališču Jazbec potekajo meritve na eni lokaciji, na odlagališču Boršt pa na dveh lokacijah.

Na odlagališču Jazbec je upravljalec odlagališča, Agencija za radioaktivne odpadke, v skladu s programom izvedel meritve hitrosti doze. Na odlagališču Boršt je meritve izvedel Rudnik Žirovski vrh.

Program meritev v letu 2016 so izvajali Institut "Jožef Stefan", ZVD Zavod za varstvo pri delu in Erico Velenje. ZVD je kot pooblaščen izvedenec varstva pred sevanji ocenil vplive na okolje ter izračunal dozno obremenjenost prebivalstva zaradi izvajanja končne ureditve odlagališč.

V letu 2016 smo za določanje posameznih prenosnih poti uporabili iste mikrolokacije ter enake analize oziroma merilne metode kot v preteklih letih, seveda z upoštevanjem zmanjšanega obsega programa. Pri metodologiji ocene doze smo upoštevali najnovejša priporočila stroke in veljavno zakonodajo. 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 2016 izračunane efektivne doze predstavnikov referenčne skupine, ki živi v vplivnem območju RŽV, v skladu s Pravilnikom o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur.L. RS št. 115/2003 [7]). 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 2016 ne razlikujejo od metod v preteklih letih. V nadaljevanju naštevamo le metode, ki so se uporabljale pri izvajanju nadzora v 2016.

I.1 Zrak

- I.1.1 Za meritve koncentracije radona v okolju uporabljamo dve metodi. Prva je določanje koncentracije radona z detektorji sledi. Koncentracijo določamo preko daljših časovnih obdobj; po programu nadzora merimo trimesečne povprečne koncentracije. Pri meritvah smo uporabili detektorje, ki so jih izdelali v LANDAUER NORDIC iz Uppsale na Švedskem. Laboratorij 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. 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 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 [8]. 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 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 [10]. Vzorcju vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytics, ZDA). Zatem smo dodali H₂SO₄ in

sooborili Ba ter Ra v obliki PbSO_4 . Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline, Na_2SO_4 in BaSO_4 . Oborino smo nato prefiltrirali skozi $0,45 \mu\text{m}$ 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 $0,03 \text{ Bq/m}^3$. Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Po-209 (Analytics, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO_2 . Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa določili aktivnost Po-210. Pb-210 smo določili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [11]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Analytics, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2 Bq/m^3 in za Po-210 $0,03 \text{ Bq/m}^3$. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.2.4 Th-230 smo določali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytics, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomočjo $\text{Fe}(\text{OH})_3$, separirali z uporabo ekstrakcijskih rezin (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF_3 in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša $0,03 \text{ Bq/m}^3$. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

I.3 Sedimenti

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

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

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

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

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

Meje detekcije za določanje zgornjih izotopov z metodo VL spektrometrije gama

so za U-238 2 Bq/kg, za Ra-226 1 Bq/kg, za Pb-210 4 Bq/kg in za Th-230 15 Bq/kg.

I.4 Zunanje sevanje gama

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

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

- I.4.2 Zunanje sevanje gama merimo v neposredni okolici nadzorovanega območja jalovišč in odlagališč. Meritve smo izvajali v različnih smereh od sredine odlagališča.

Identifikacijo merilnih mest v naravi smo opravljali s pomočjo natančne karte terena in kompasa. Pri meritvah smo uporabljali prenosni merilnik (točka I.4.1) z možnostjo integracijskega odčitavanja. Merili smo 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 (imisije) 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 2016

Program monitoringa radioaktivnosti okolja RŽV 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.

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

| | | | | analiz | |
|--|---------------------|------|--|---------------------------|---|
| 2. VODE – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA | | | | | |
| 2.1. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza | | | | | |
| 3.-5. leto kvartalno | Todraščica po | voda | dnevno, trenutni vzorec | kvaratalno, kompozitum | 4 |
| enkratni odvzem | Todraščica pred | voda | enkratno vzorčenje (povprečni pretok) | | 1 |
| Ni v programu, izvedeno rezen Sora pred, izvedena pa Brebovščica po | Todraščica po | | | | 1 |
| | Poljanska Sora pred | | | 5. leto | 1 |
| | Poljanska Sora po | | | | 1 |
| 2.2. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza | | | | | |
| 3.-5. leto kvartalno | Todraščica po | voda | dnevno, trenutni vzorec | kvartalno, kompozitum | 4 |
| enkratni odvzem | Todraščica pred | voda | enkratno vzorčenje (povprečni pretok) | | 1 |
| Ni v programu, izvedeno rezen Sora pred, izvedena pa Brebovščica po | Todraščica po | | | | 1 |
| | Poljanska Sora pred | | | 5. leto | 1 |
| | Poljanska Sora po | | | | 1 |

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

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

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 | | | | | |
| Ni v programu za 2016 | | | | | |

| Vrsta in opis meritve | Vzorčevalno mesto | Vrsta vzorca | Pogostost vzorčevanja | Pogostost meritev, analiz | Letno število |
|---|--|--------------|-----------------------------------|---|---------------|
| 3. SEDIMENTI – BREBOVŠČICA, TODRAŠČICA IN SORA | | | | | |
| 3.1. U – specifična VL gama spektrometrija | Todraščica po Brebovščica po (Gorenja Dobrava) - izveden en letni vzorec po dogovoru z dr. B. Vokal Nemeč iz URSJV v 2013, ni bilo v rednem programu | sediment | kontinuirno polletno vzorčenje | polletno letno 5. leto | 2 |
| | Sora po – izveden en letni vzorec po dogovoru z dr. B. Vokal Nemeč iz URSJV v 2013, ni bilo v rednem programu | | | | 1 |
| | Zahodni Boršt potok | | | | |
| 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 | | | | | |
| NI V PROGRAMU za 2016 | | | | | |
| 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 trava/seno in mleko | Potokar Referenčno mesto Ni v programu | mleko | sezonsko, enkratni vzorec | sezonsko 5. leto | 1 1 |
| 5.2. Pb-210, VL gama spektrometrija | Potokar Referenčno mesto Ni v programu | mleko | sezonsko, enkratni vzorec | sezonsko 5. leto | 1 1 |
| 6. ZUNANJE SEVANJE GAMA | | | | | |
| 6.1. Zunanje okolje TLD | S brežina odlagališča Boršt, zgoraj | zunanje sevanje | kontinuirno | kvartalno, 5. leto | 4 |
| 6.2. Neposredna okolica odlagališč, posamezne merilne točke prospekcija, merilni instrument | Odlagališče Boršt - okolica Ni v programu | zunanje sevanje | letno | letno 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.

| 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) | četrtno | 4 |
| | | | | 3. – 5. leto | 4 |
| | | | | 1. – 5. leto | 4 |
| | | | | 3. – 5. leto | 4 |
| ²²² Rn, kontinuirno vzorčenje, merilnik radona | MP BORŠT BORŠT etaža BORŠT zgoraj Ni izvedeno | zrak | občasno, 3-4 dni, istočasno z meritvijo PAEC | polletno, | 2 |
| | | | | | 2 |
| | | | | 1. - 5. leto | 2 |
| ²²² Rn kratkoživi potomci, kontinuirno vzorčenje, spektrometrija alfa | MP BORŠT Ni izvedeno | zrak | kontinuirno črpanje zraka | vsako uro 1. - 5. leto | vsako uro |
| ²²² Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa | drenažni tunel Ni izvedeno | 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 Izvedeno le poleti (začetek septembra) | zrak | občasno, sušno obdobje, zmerno mokro obdobje | polletno | 8 |
| | | | | poleti in jeseni, brez padavin 1. – 5. leto | 6 |

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

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

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

| Vrsta in opis vzorčenja/meritve | Merilno mesto | Vrsta vzorca | Pogostost vzorčenja | Pogostost meritev, analiz | Letno število |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|--------------------------|
| ZUNANJE SEVANJE | | | | | |
| Zunanje (gama) sevanje, TLD dozimeter | BORŠT etaža | - | občasno | četrtno 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 UZJV-B103/048, september 2012«, izdelovalec IBE d.d. in sicer je opredeljen v tabeli 14-9 na strani 14-87/107.

| Kontrola | Pogostost | Meritve in analize |
|---|----------------------------|---|
| Iztok izcednih voda iz propusta <i>²³⁸U, ²²⁶Ra ni izvedeno s strani upravljavca, izvedel RŽV d.o.o., ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po ni izvedeno</i> | 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 <i>Ni izvedeno</i> | 1 x letno | ²³⁸ U, ²²⁶ Ra |
| Podtalnica 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 <i>²³⁸U ni izvedeno</i> | 1 x letno | v piezometru: nivo podtalnice, T vode, pH, el. prevodnost v laboratoriju: ²³⁸ U, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , K, Na, raztopljene snovi |
| Podtalnica v piezometrih na zunanjem robu odlagališča, piezometri BS-25, BS-27, BS-28, BS-29 <i>²³⁸U ni izvedeno</i> | 1 x letno | v piezometru: nivo podtalnice, 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 <i>Ni izvedeno</i> | 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 | 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 Ni izvedeno | 1 x letno | ocena pretoka, raztopljene snovi, ^{238}U , ^{226}Ra |
| Piezometer BS-30 Ni izvedeno | 1 x letno | v piezometru: nivo podtalnice, T vode, pH, el. prevodnost, v laboratoriju: ^{238}U , ^{226}Ra , SO_4^{2-} , raztopljene snovi |
| Dolina Brebovščice 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 četrtletno (I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII) |

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV

III.1 ZRAK

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

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

III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju

Emisijska vira Rn-222 na nadzorovanem področju 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 platoju 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 0,02 Bq/m²s).

Povprečna vrednost ekshalacije radona iz odlagališča Jazbec in Boršt za obdobje 2012-2015 je v tabeli ([Tabela III-1](#)). V letih 2013-2015 je meritve izvedel RŽV, d.o.o. v 2012 pa pooblaščen organizacija. Že vsa leta od 2012 v poročilih predlagamo, da vsaj del meritev ekshalacije **naredita skupaj RŽV d.o.o. in pooblaščen organizacija** in se na ta način preveri zanesljivost meritev RŽV d.o.o. ter tudi oceni merilna negotovost, ki je RŽV d.o.o. ne podaja. Nenazadnje je merilni inštrumentarij pooblaščen 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. V letu 2014 je bilo veliko padavin z nižjimi poletnimi temperaturami, zato ocenjujemo, da je bilo izhajanje radona iz zemlje v letu 2014 manj. Je pa pri meritvah ekshalacije pomembno kdaj se jih izvaja (zelo suho obdobje ali razmočen teren), koliko časa traja meritev (eno uro ali več dni) in ne nazadnje od lokacije meritev. Zato bi bilo smiselno pri meritvah, ki se jih izvaja, navajati tudi te podatke, ki jih v času pisanja poročila nismo uspeli pridobiti.

Tabela III-1: Povprečna ekshalacija radona na odlagališčih Jazbec in Boršt v letih 2012-2016 (Bq/m²s), izračunana iz meritev, ki so bile izvedene v različnih obdobjih leta. Meritve je izvajal RŽV sam, merilnih negotovosti v rezultatih ne podaja.

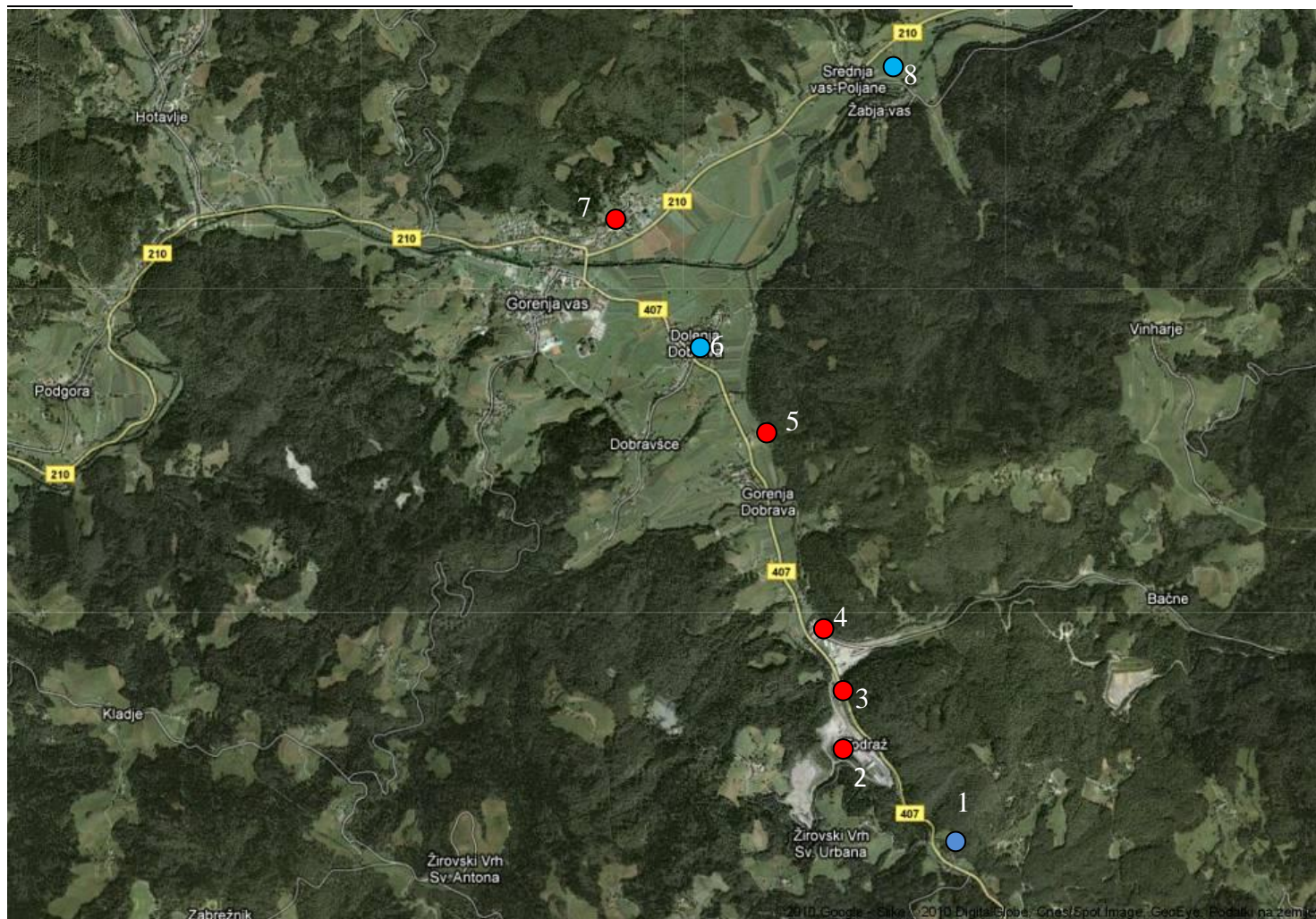
| Leto | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 |
|---|---------------|---------------|---------------|-------|----------------------------------|
| Odlagališče Jazbec | | | | | |
| Zimsko obdobje | Ni v programu | Ni v programu | Ni v programu | 0,034 | Ni izvedeno (razmočenost terena) |
| Letno obdobje | Ni izvedeno | 0,063 | 0,022 | 0,028 | 0,025 |
| | | | | | |
| Odlagališče Boršt | | | | | |
| Zimsko obdobje | Ni izvedeno | 0,042 | 0,031 | 0,030 | Ni izvedeno (razmočenost terena) |
| Letno obdobje Datum meritev: 26.8.-3.9.2016 | 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 $0,04 \pm 0,03$ Bq/m²s.

V letu 2016 so se meritve koncentracije radona z detektorji sledi izvajale na lokacijah v dolini Brebovščice in Sore (Slika 1). Z letom 2014 so opuščene meritve na lokacijah Brebovnica, Dolenja Dobrava in Srednja vas.

Izbrisano



Slika 1: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v dolini Brebovščice na zemljevidu Google maps., 2-Jazbec, 3-Transportni trak, 4-Todraž, 5-Gorenja Dobrava, 7-Gorenja vas. Lokacije, ki jih ni bilo več od leta 2014, so označene z modrimi krogi: 1-Brebovnica, 6-Dolenja Dobrava, 8-Srednja vas Čadež

Redna lokacija v Gorenji vasi (lokacija št. 7) je bila v letu 2008 na zahtevo lastnika zemljišča prestavljena iz travnika, torej iz odprtega prostora, 20 m višje med hiše.

V tabeli ([Tabela III-2](#)) povzemamo povprečne vrednosti koncentracije radona v dolini Brebovščice, izmerjene z detektorji sledi, v letih 2008-2016.

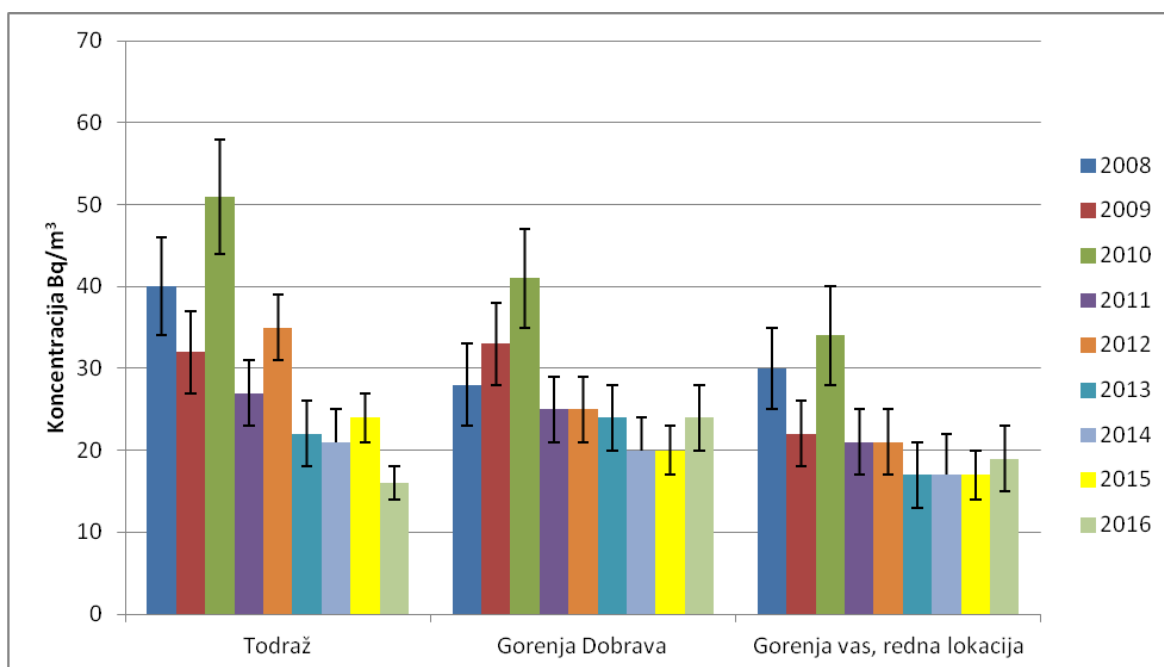
Tabela III-2: Povprečne letne koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, v dolini Brebovščice v letih 2008-2016 (Bq/m³)

| | Brebovnica | Todraž | Gorenja Dobrava | Dolenja Dobrava, redna lokacija | Gorenja vas, redna lokacija | Srednja vas | Ljubljana |
|---|------------|--------|--------------------|--|-----------------------------------|-------------|-----------|
| 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 2011 | 31 ± 5 | 27 ± 4 | 25 ± 4 | 23 ± 4 | 21 ± 4 | 23 ± 4 | 19 ± 4 |
| 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 | 43 ± 6 | 40 ± 6 | 28 ± 5 | 27 ± 5 | 30 ± 5 | 25 ± 4 | 26 ± 5 |

Izbrisan

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| radona (Bq/m ³) leto 2008 | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

Koncentracija radona je bila v 2016 najvišja v Gorenji Dobravi (Slika 2), kjer so sicer izmerjene nižje koncentracije kot v Todražu. To da je izmerjena vrednost v Todražu nižja kot v Gorenji Dobravi ali Gorenji vasi v 2016 je nenavadno. Še zlasti, ker so vrednosti na lokaciji Pod transportnim trakom, ki je okoli 100 m po dolini Brebovnice navzgor, pričakovano najvišje od vseh merilnih mest.

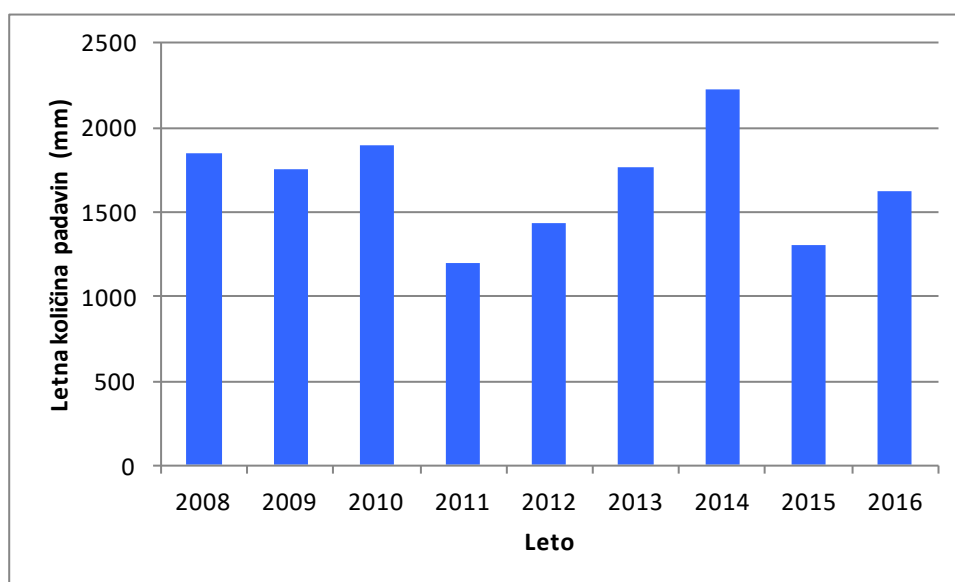


Slika 2: Koncentracije Rn-222 v dolini Brebovščice in Poljanske Sore, merjeno z detektorji sledi. Prikazane so le lokacije, na katerih so se izvajale meritve v vseh letih v obdobju 2008-2016.

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 razlaga 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 bi imeli na enem merilnem mestu več detektorjev.

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 so emisije radona iz odlagališč komaj kaj višje od ozadja v Gorenji vasi.



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 [3], 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.1.3).

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 2016 prispevek rudniškega radona na lokaciji Gorenja Dobrava:

$$\Delta C_{Rn, Y} = 7,3 \pm 1,5 \text{ Bq} / \text{m}^3 * \frac{35 \pm 4 \text{ Bq} / \text{m}^3}{94 \pm 9 \text{ Bq} / \text{m}^3} = 2,7 \pm 0,8 \text{ Bq} / \text{m}^3$$

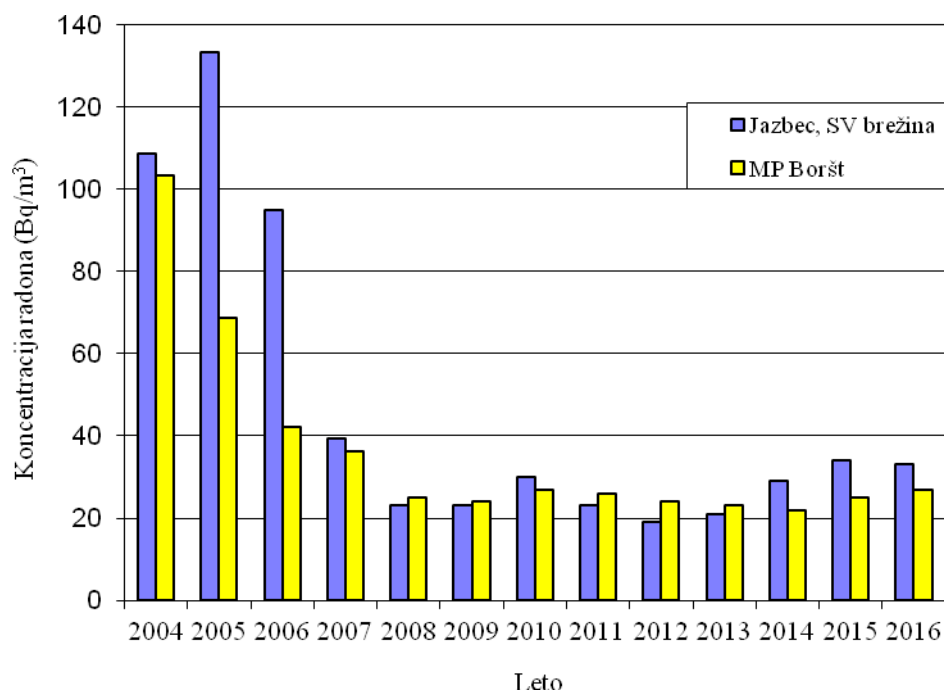
Negotovost ocene je podana s faktorjem zaupanja k=2.

Če namesto izmerjene koncentracije na lokaciji *Transportni trak* vstavimo izmerjeno koncentracijo na lokaciji *Jazbec – merilna postaja*, bi bil izračunani prispevek rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi malenkost nižji in sicer $2,56 \pm 0,76 \text{ Bq/m}^3$ v primerjavi z $2,64 \pm 0,78 \text{ Bq/m}^3$, če upoštevamo lokacijo Pod transportnim trakom. Zaradi konservativnega pristopa k izračunu doze, upoštevamo prispevek iz tiste lokacije, ki je večji.

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

Zanimivo je, da so na odlagališču Boršt (Boršt, merilna postaja) in Jazbec (SV brežina odlagališča, zgoraj) izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2016 za več kot dvakrat nižje kot pred 2008 ([Slika 4](#)). V obdobju 2014-2016 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 ozirom 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 [3]. 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.



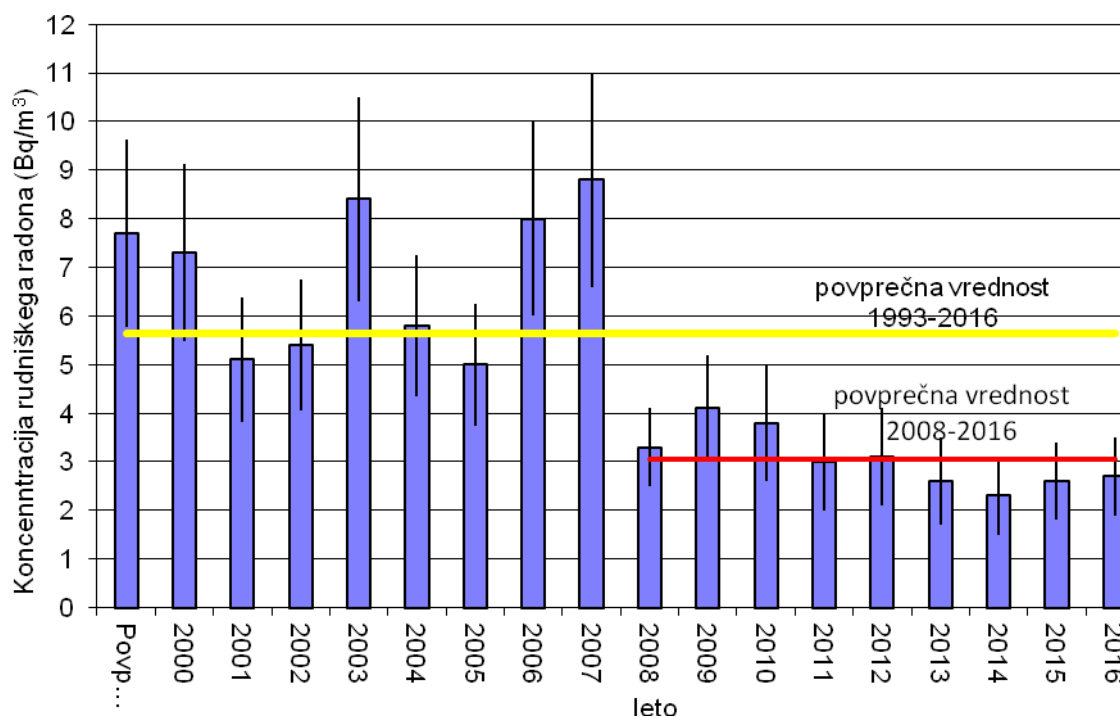
Slika 4: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt

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 2008-2016 |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Prispevek RŽV | 7,6 | 6,6 ± 3,4 | 3,1 ± 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 |



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 1991-2016 je 5,6 Bq/m³ oziroma v obdobju 1993 do 2007, ko je že bila izvedena večina zapiralnih del, 7,18 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 2008-2016 je 3,1 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 meritve 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 Brebovnice izvajajo le še polletne meritve.

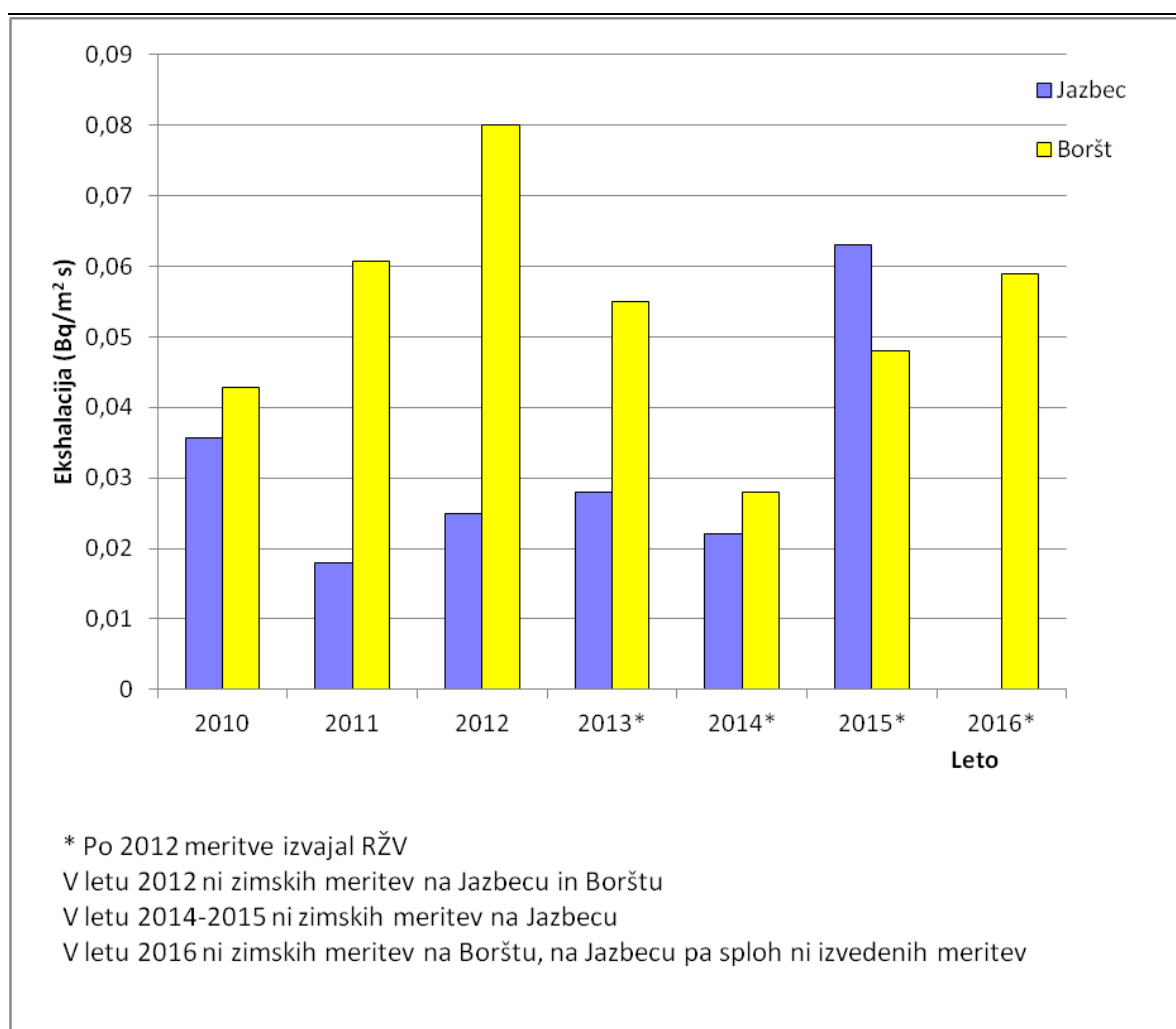
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

Od leta 2012 v programu nadzora radioaktivnosti ni meritev koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo ogljenih 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, ki sta jih hkrati izvedla RŽV d.o.o. in pooblaščen organizacija. Predlagamo, da določen del meritev tudi v bodoče naredita skupaj pooblaščen organizacija, ki izvaja meritve radona z metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025 in RŽV d.o.o. in se na ta način preveri metodo RŽV d.o.o. oziroma izvede primerjalne meritve. V letu 2016 se je na odlagališču Boršt izvedlo meritve ekshalacije le v poletnem obdobju, na odlagališču Jazbec pa meritev sploh ni bilo. Ker ocenjujemo, da radon še vedno največ prispeva k obremenjenosti prebivalcev in ker se le z meritvami na viru samem lahko spremlja kakovost prekrivke na odlagališčih, je izostajanje meritev oziroma neizvajanje programa nesprejemljivo. Še toliko bolj, ker je predpisane avtorizirane vrednosti za ekshalacijo iz obeh odlagališč, ki pa se jih pravzaprav ne spremlja, oziroma se jih vsaj v 2016 ni spremljalo.

Ekshalacija radona se je na prekritih površinah zmanjšala iz vrednosti pred izvedbo prekrivke **0,5 – 1,0 Bq/m²s** 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: 0,1 Bq/m²s za odlagališče Jazbec in 0,7 Bq/m²s za odlagališče Boršt.



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. Sedaj so koncentracije radona na obeh odlagališčih izenačene in se vrednosti gibljejo okoli 20 Bq/m³. Zanimivo je, da izmerjene vrednosti z detektorji sledi ne potrjujejo meritev ekshalacije. Pričakovali bi, da bo na odlagališču Boršt, kjer so izmerjene večje ekshalacije radona bile izmerjene tudi večje koncentracije radona. Razlog 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 meritve namreč izvaja, ko je prekrivka suha oziroma ko voda odteče.

V preteklosti, ko so bile koncentracije radona na Jazbecu 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 vlivajo tako, kot smo razlagali v preteklosti ali pa je le zelo malo dni s temperaturno inverzijo.

III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

III.2.1 Vodotoki

V programu nadzora so koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele V.2.1-V.2.4). Zaradi zapiranja rudnika 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.
- ✓ Meritve enkratnih vzorcev, ki so sicer bile v programu za 2013, RŽV d.o.o. v 2013 ni izvedel.
- ✓ V 2014 so bile v programu meritve enkratnih vzorcev v Brebovščici na lokaciji v Gorenji Dobravi in ne na lokacijah Brebovščica pred, Sore pred in Sora po. V 2015 so v programu spet vse lokacije.
- ✓ V 2014 ni bilo v programu enkratnih vzorcev v Todraščici, v 2015 so spet vključeni v program.
- ✓ V 2016 v programu ni enkratnih vzorcev v Todraščici in Brebovščici, RŽV meritve izvede.

Iz zgornjih alinej je razvidno, da zaradi različne dinamike zapiranja odlagališč Jazbec in Boršt ter omejenih sredstev program meritev radioaktivnost v Todraščici in Brebovščici, ni konsistentno izvajan. 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.

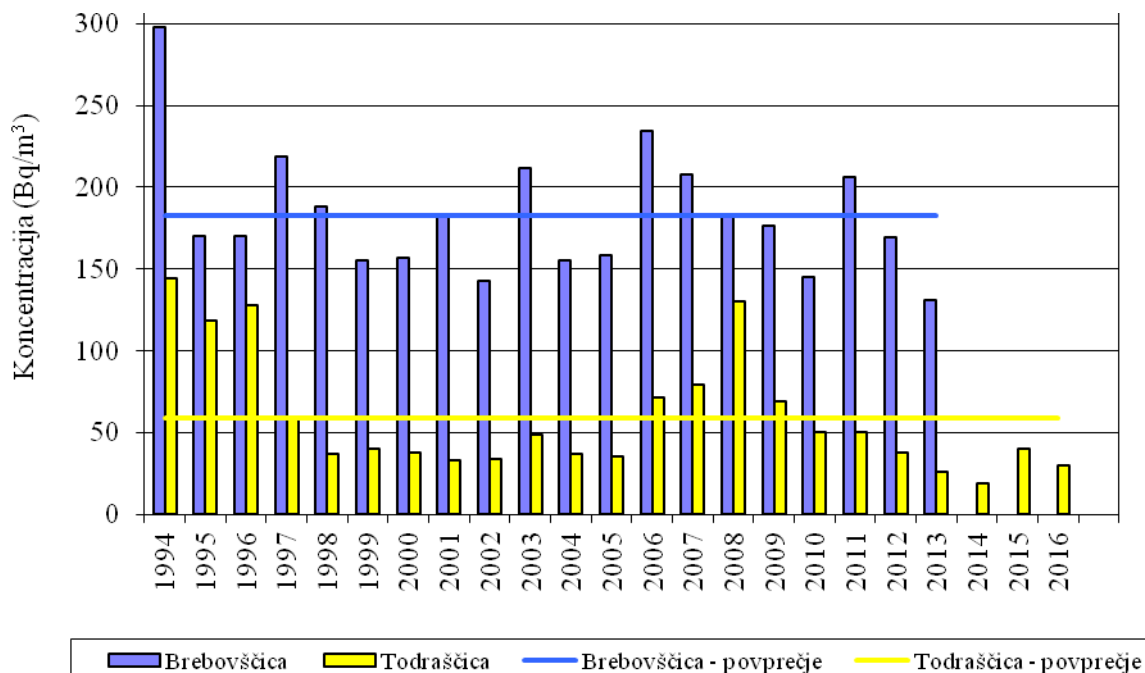
Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah ([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

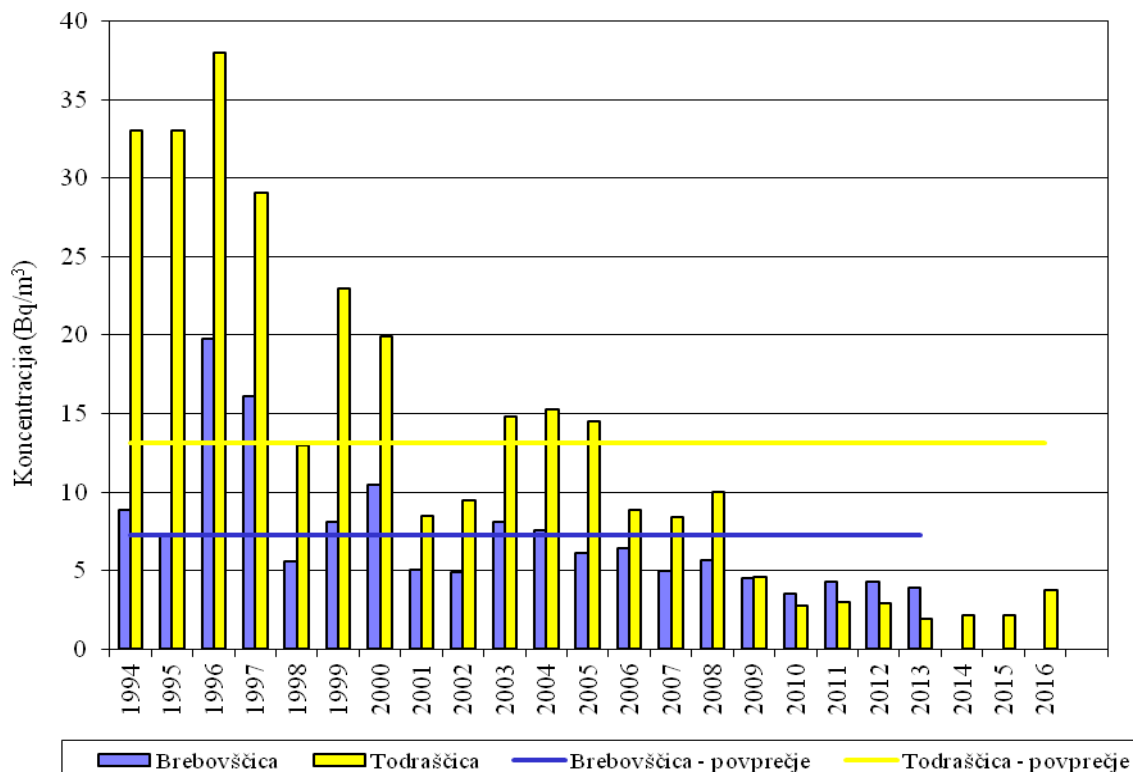
koncentracije med obratovanjem rudnika v obdobju 1985 - 1990 so zbrane v tabeli ([Tabela III-4](#)).

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

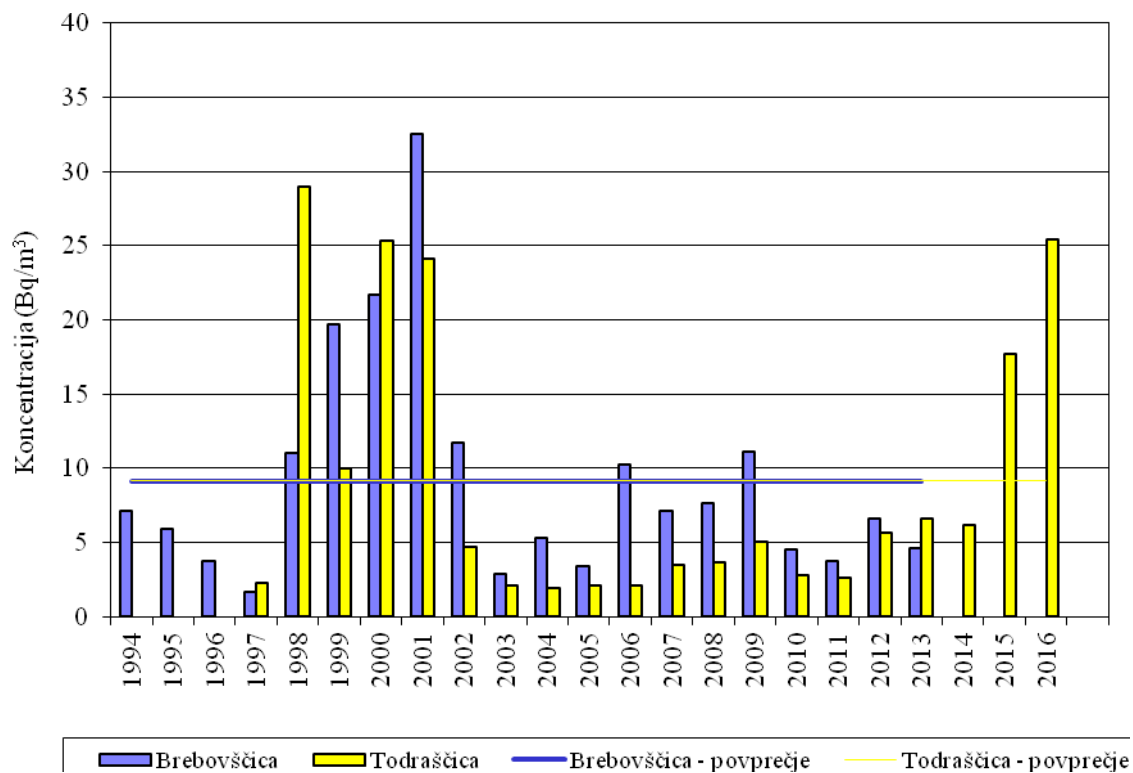
| | U-238 (Bq/m ³) | Ra-226 (Bq/m ³) | Pb-210 (Bq/m ³) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Brebovščica | 200-330 | 20-30 | 5-10 |
| Todraščica | 100 | 50-60 | 10 |



Slika 7: Povprečne letne koncentracije U-238 v Brebovščici in Todraščici PO



Slika 8: Povprečne letne koncentracije Ra-226 v Brebovšičici in Todraščici PO



Slika 9: Povprečne letne koncentracije Pb-210 v Brebovšičici in Todraščici PO

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo nekaj odstotkov mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 (IK = 3000 Bq/m³), za Pb-210 (IK = 190 Bq/m³) in za Ra-226 (IK = 480 Bq/m³) [6]. Dodatno kontaminacijo reke Sore zaradi prispevkov RŽV lahko ocenimo iz razmerja pretokov Sore in Brebovščice, ki je približno 9:1.

Po prenehanju obratovanja rudnika so površinski onesnaževalci voda: jamska voda, izcedne vode iz odlagališča rudarske jalovine Jazbec ter izcedne vode iz odlagališča hidrometalurške jalovine na Borštu. Glavni onesnaževalec površinske vode z Ra-226 je jamska voda. Prispevek odlagališča Boršt se je po izvedenih sanacijskih delih zmanjšal in je podoben kot prispevek odlagališča Jazbec ([Tabela III-5](#)). Izpusti Ra-226 iz posameznega odlagališča so približno desetkrat manjši kot iz jame (jamska voda). Pred zapiralnimi deli v jamskem obratu je bil prispevek jamskega obrata približno trikrat večji od prispevka odlagališč.

Koncentracija Ra-226 se v Todraščici poveča po dotoku izcednih vod iz odlagališča Boršt (zahodni Boršt potok). V 2016 je RŽV izvedel meritve U-238, Ra-226 in Pb-210 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 2x in Pb-210 za 2x (Tabela V.2.4).

Ocene prispevka odlagališča Jazbec ni mogoče narediti, saj meritev v Brebovščici pred ni v programu, ne kontinuiranih vzorcev in ne enkratnih vzorcev.

Brebovščica v reko Soro prinese U-238 in Ra-226. Povečanje v Sori po dotoku Brebovščice, v primerjavi s koncentracijami nad dotokom Brebovščice, je sorazmerno z velikostjo pretokov Brebovščice in Sore. Meritve enkratnih vzorcev izvedene v 2015 in 2016 so za uran potrdile, da je povečanje koncentracije v Sori približno v razmerju pretokov Sore in Brebovščice. V letu 2015 so bile koncentracije U-238 v Brebovščici PO (221 ± 8 Bq/m³) in v Sori PO pa ($16,5 \pm 0,5$ Bq/m³), v 2016 pa so bile koncentracije U-238 v Brebovščici PO (371 ± 31 Bq/m³) in v Sori PO ($37,6 \pm 4,0$ Bq/m³),

Iz pregledne tabele ([Tabela III-5](#)) sledi, da je glavni onesnaževalec z uranom jamska voda, sledijo izcedne vode odlagališča Jazbec in nato Boršt. Tekočinske emisije so močno odvisne od količine padavin. V letih, ko je več padavin, je več izpiranja in posledično več emisij urana in radija. 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, a v letu 2016 upravljavec odlagališča Jazbec teh meritev ni izvedel. Iz meritev enkratnih vzorcev sicer ni mogoče oceniti celoletnih tekočinskih emisij, lahko pa se oceni prispevke odlagališča Jazbec k povečanju koncentracije radionuklidov v Brebovščici.

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-5: 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 |
|---|------|------|------|------|-------|------|------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Letne tekočinske emisije U₃O₈ (kg) | | | | | | | | | | |
| Jamski obrat | 100 | 156 | 173 | 184 | 147 | 134 | 158 | Ni meritev | Ni meritev | Ni meritev |
| Jazbec | 65 | 44 | 32 | 38 | 21,8 | 30 | 39 | Ni meritev | Ni meritev | Ni meritev |
| Boršt | 21 | 77 | 43 | 29 | 12 | 10 | 17 | 14 | 9,8 | 12,5 |
| SKUPAJ | 185 | 276 | 248 | 251 | 180,8 | 174 | 214 | 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 |
| Jazbec | 9,3 | 5 | 3 | 4,6 | 2,2 | 3,1 | 4,9 | Ni meritev | Ni meritev | Ni meritev |
| Boršt | 11,9 | 35 | 13 | 12,5 | 3 | 3,4 | 5,8 | 5,0 | 2,9 | 3,3 |
| SKUPAJ | 41,2 | 67 | 48 | 54,3 | 34,2 | 34,5 | 44,4 | Ni možno oceniti | Ni možno oceniti | 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 U₃O₈ 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 pa 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 pa so koncentracije v Brebovščici in Todraščici, prav zaradi redčenja z večjimi količinami

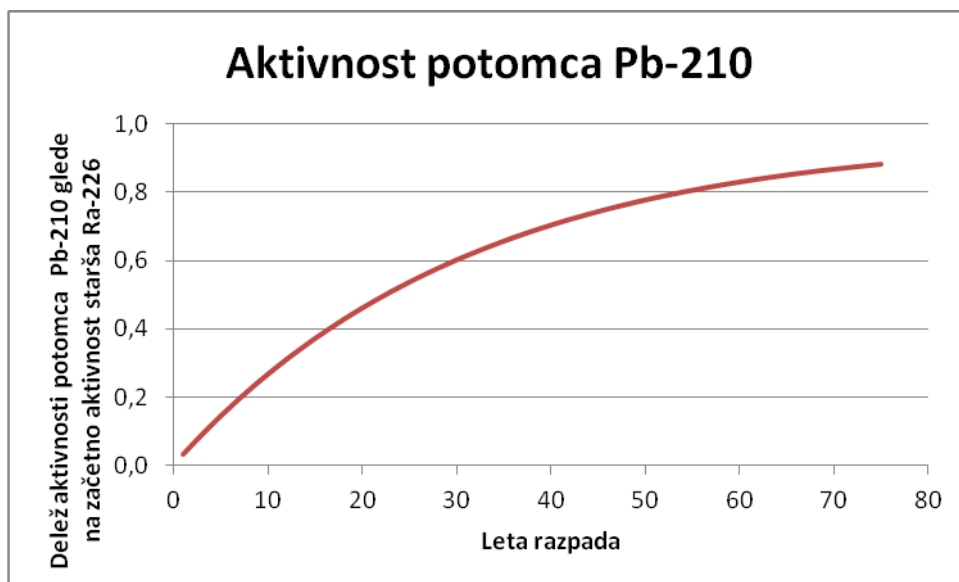
Izbrisan

Izbrisan

vode, nižje. V letu 2014 je bila količina padavin in posledično pretoki Brebovščice in Todraščice najvišji v zadnjih letih. Tudi zato so povprečne koncentracije U-238 in Ra-226 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.

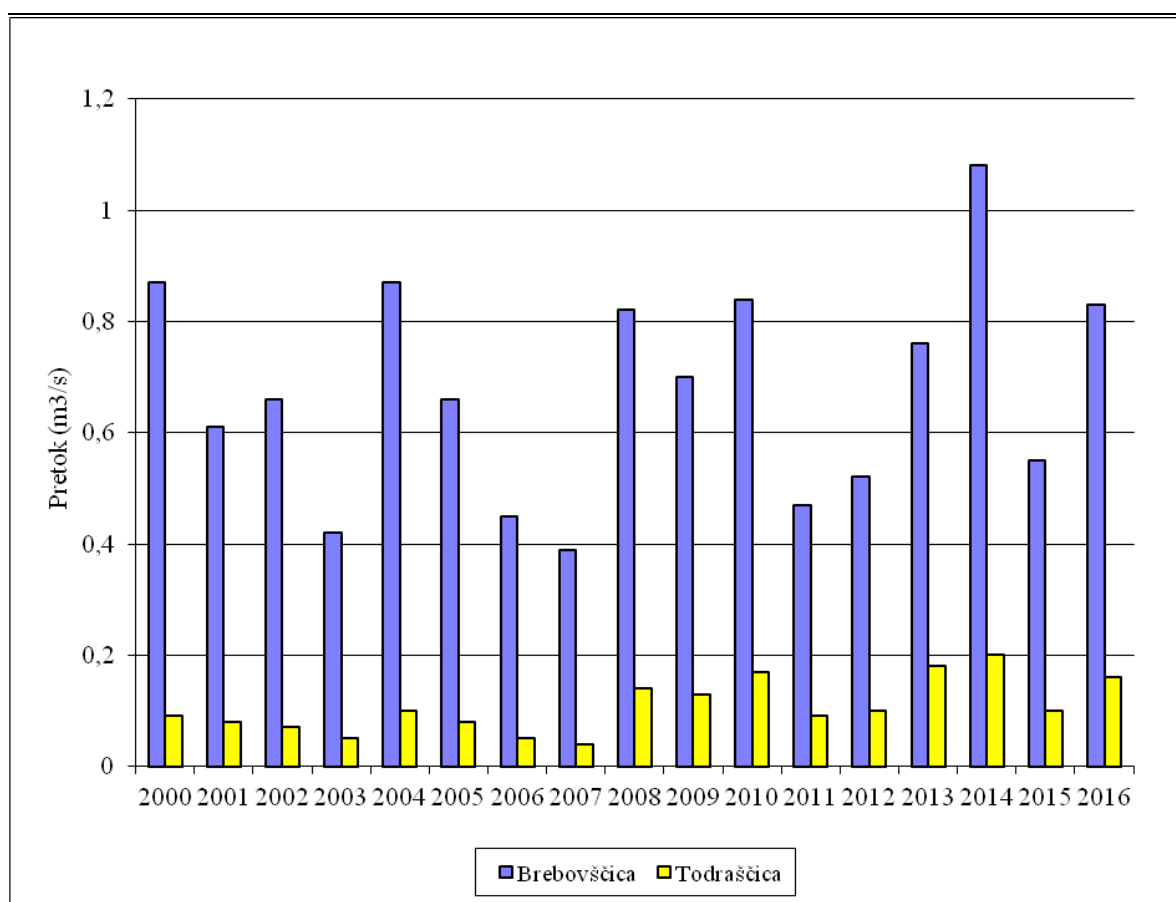
Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici so se z leti zmanjšale in so po letu 2009 pod 5 Bq/m^3 . Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih Jazbec in Boršt so se izpusti Ra-226 zmanjšali in ustalili na letni ravni okoli 35-40 MBq.

Koncentracije Pb-210 v Todraščici PO so bile v 2015 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).



Slika 10: Povečevanje aktivnosti Pb-210 zaradi radiaktivnega 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.



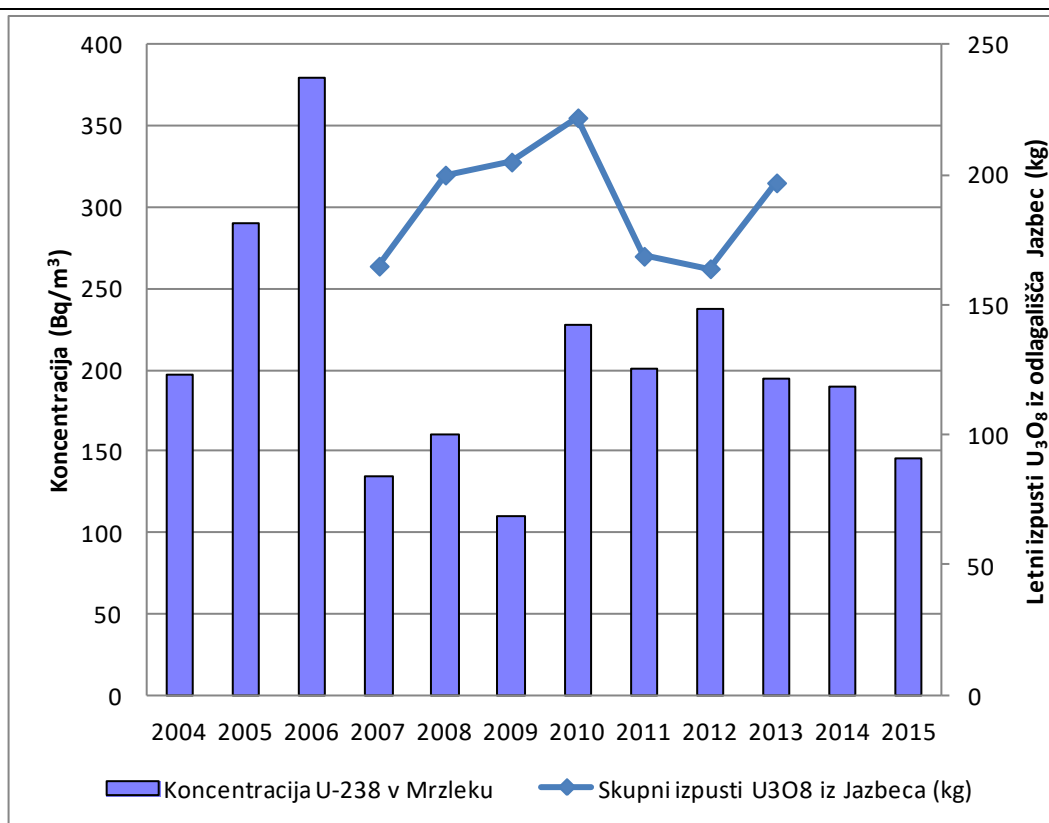
Slika 11: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

III.2.2 Podtalnica

V programu nadzora so bile v letu 2016 tudi meritve radioaktivnosti enkratnega vzorca podtalnice v izviru Mrzlek v Dolenji Dobravi, za katerega je bila z raziskavami ugotovljena povezava z vodami iz odlagališča Jazbec, in na odlagališču Jazbec. Žal niso bile izvedene.

Ker je glavni vir imisij odlagališče Jazbec, so v programu meritev imisij meritve koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v izcednih vodah iz odlagališča Jazbec (voda iz propusta pod Jazbecom, pred točko mešanja). Meritev upravljavec odlagališča Jazbec v 2016 ni izvedel.

Na sliki (Slika 11) so gibanje koncentracije U-238 v izviru Mrzlek in letni izpusti U_3O_8 iz odlagališča Jazbec do leta 2015. Neposredne korelacije med izpusti iz odlagališča in koncentracijo v izviru Mrzlek ni. Se je pa koncentracija U-238 v izviru Mrzlek povečala po končanih ureditvenih delih na Jazbecu (povečanje od leta 2010) in je od tedaj naprej konstantna okoli 200 Bq/m^3 .



Slika 12: Koncentracije U-238 v izviru Mrzlek (Bq/m³) in letni izpusti U₃O₈ (kg) iz odlagališča Jazbec

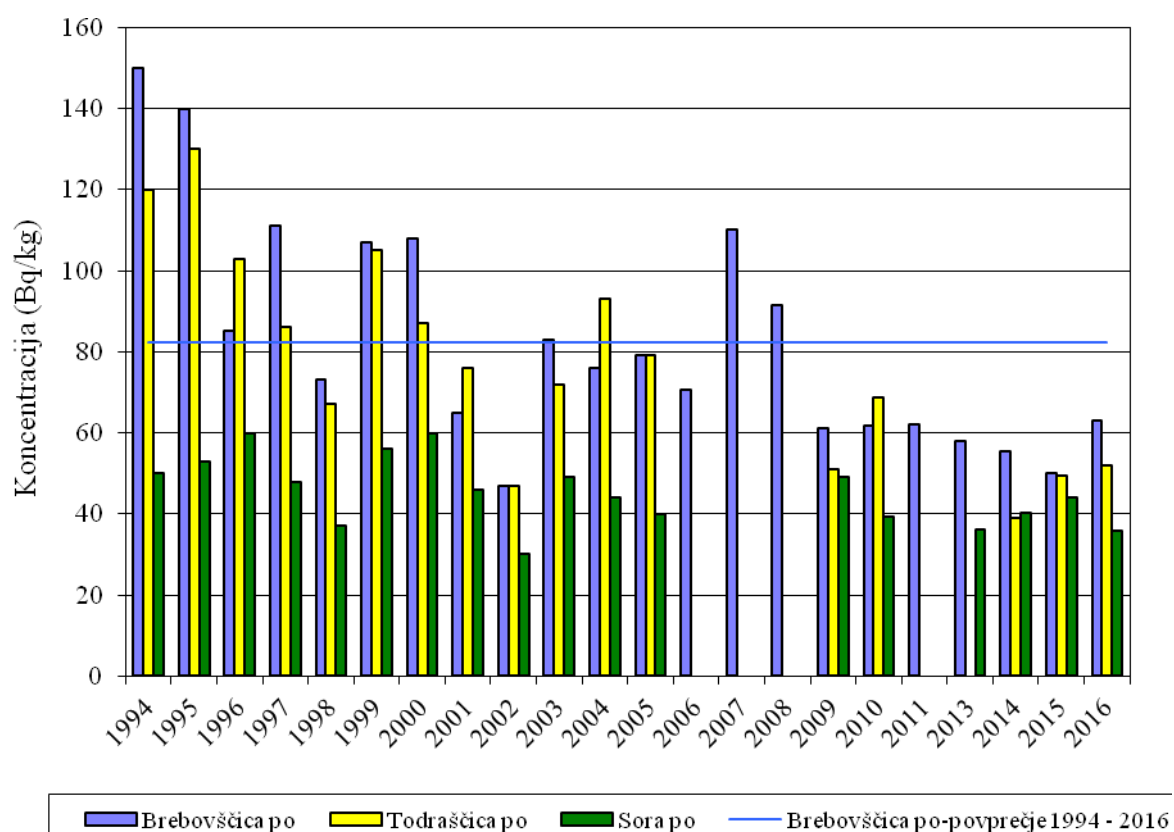
III.3 SEDIMENTI

V tabeli (Tabela V.3.1 – V.3.3) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v vzorcih sedimentov v Brebovščici PO (mesto vzorčenja po vtoku Todraščice v Brebovščico, rudniške imisije), Todraščici PO in Sori PO (mesto vzorčenja po vtoku Brebovščice v Soro). Po programu so predvidene meritve polletnih zbirnih vzorcev, vendar so v Brebovščici PO in Sori PO izvedene le meritve letnih vzorcev, ki pa niso pokrile celotnega leta (povsem enako je bilo v 2015). 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.

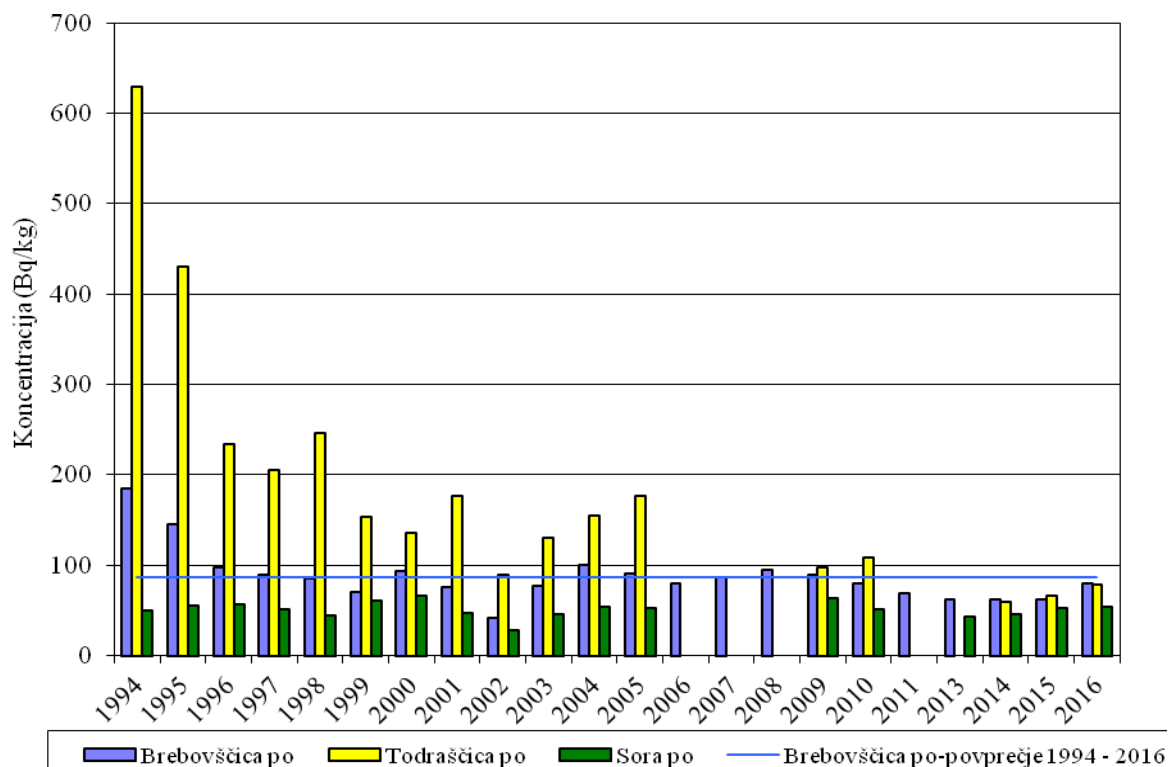
V tabeli (Tabela III-6) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 13, Slika 14 in Slika 15) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

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

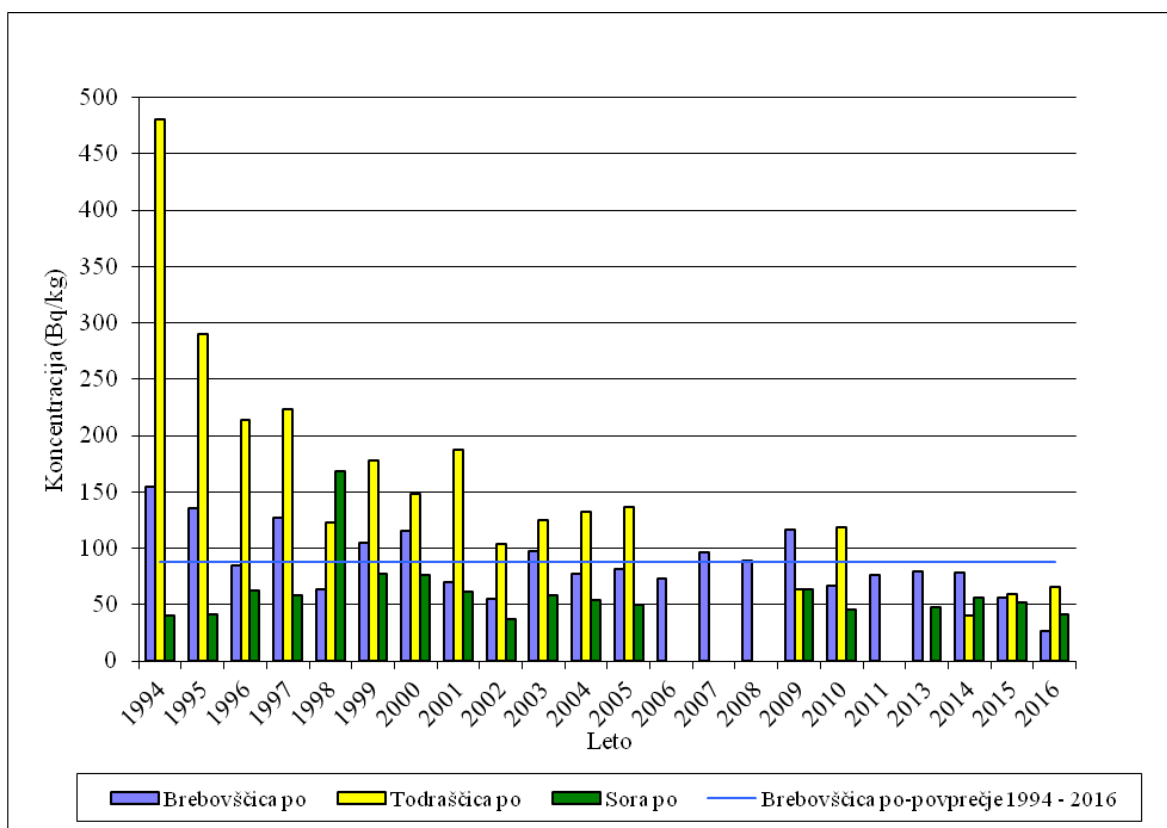
| | U-238 (Bq/m ³) | Ra-226 (Bq/m ³) | Pb-210 (Bq/m ³) |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Brebovščica po | 200-250 | 250-300 | 200-300 |
| Todraščica po | 180 -250 | 500-600 | 450 - 550 |
| Sora po | 50 -65 | 60-70 | 50 - 60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



Slika 13: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 14: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 15: 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 povežujemo 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 so koncentracije Ra-226 in Pb-210 večje kot v 2015, kar se ujema z rezultati meritev koncentracije Ra-226 in Pb-210 v zbirnih vzorcih vod, saj so tudi v teh vzorcih koncentracije obeh radionuklidov v 2016 večje kot v 2015. Trend povečevanja koncentracije Ra-226 in Pb-210 v sedimentih in vodah v Todraščici PO opazamo že tretje leto zapored. Vsekakor je potrebno spremljati koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodah, da se ugotavlja učinkovitost prekrivke oziroma zadrževanje radionuklidov v telesih odlagališč.

Značilen je trend upadanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih 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.

III.4 HRANA, PRIDELKI, KRMA

Meritve mleka, hrane in krme v letu 2016 niso bile v programu. V okviru programa nadzora radioaktivnosti v krmi v Republiki Sloveniji, ki ga izvaja Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, sta bila analizirana vzorec sena iz odlagališča Boršt in vzorec sena iz Gorenje Dobrave. Rezultati so v tabeli V.4.1.

Če primerjamo vrednosti iz leta 2016 z vrednostmi iz leta 2005 , ko se je nazadnje merilo travo 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. Pb-210 je bilo v travi iz odlagališča Boršt v letu 2005 okoli 70 Bq/kg, v 2016 pa 40 Bq/kg. Naravni radionuklidi pridejo v travo na odlagališčih iz materiala prekrivke, ki ima bistveno nižjo vsebnost naravnih radionuklidov, kot jo ima jalovina iz obdobja rudarjenja. Nižje vrednosti so torej pričakovane. Vrednosti ne odstopajo od vsebnosti naravnih radionuklidov v senu na drugih lokacijah v Sloveniji [32].

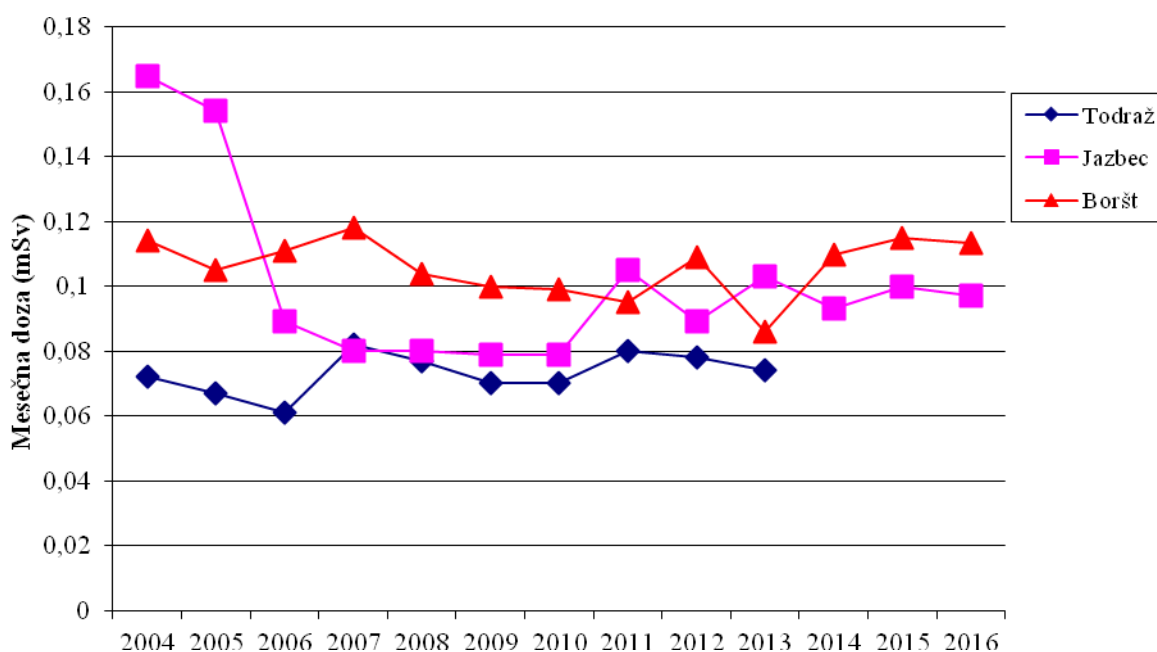
III.5 RIBE

V letu 2016 ni bilo v programu meritev rib v Brebovščici, Poljanski Sori in Selški Sori. RŽV je meritve rib nazadnje izvedel 2014, ko sicer niso bile v programu in to namesto meritev v 2013, ki so bile predvidene v programu monitoringa [4].

III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

V programu monitoringa za 2016 so bile meritve zunanjega sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališčih Jazbec in Boršt. Absorbirano dozo v zraku smo merili s termoluminiscentnimi dozimetri na treh lokacijah: na odlagališčih Jazbec in Boršt na lokaciji merilnega mesta ter na odlagališču Boršt na lokaciji »Boršt v ograji« (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 16). Mesečne doze smo v letih, ko so meritve kvartalne, dobili tako, da smo jih izračunali iz rezultatov kvartalnih meritev (rezultat meritve delimo s faktorjem 3). Obsežna zapiralna dela, predvsem nanašanje prekrivke, so vplivala na zmanjšanje doze na odlagališču Jazbec.



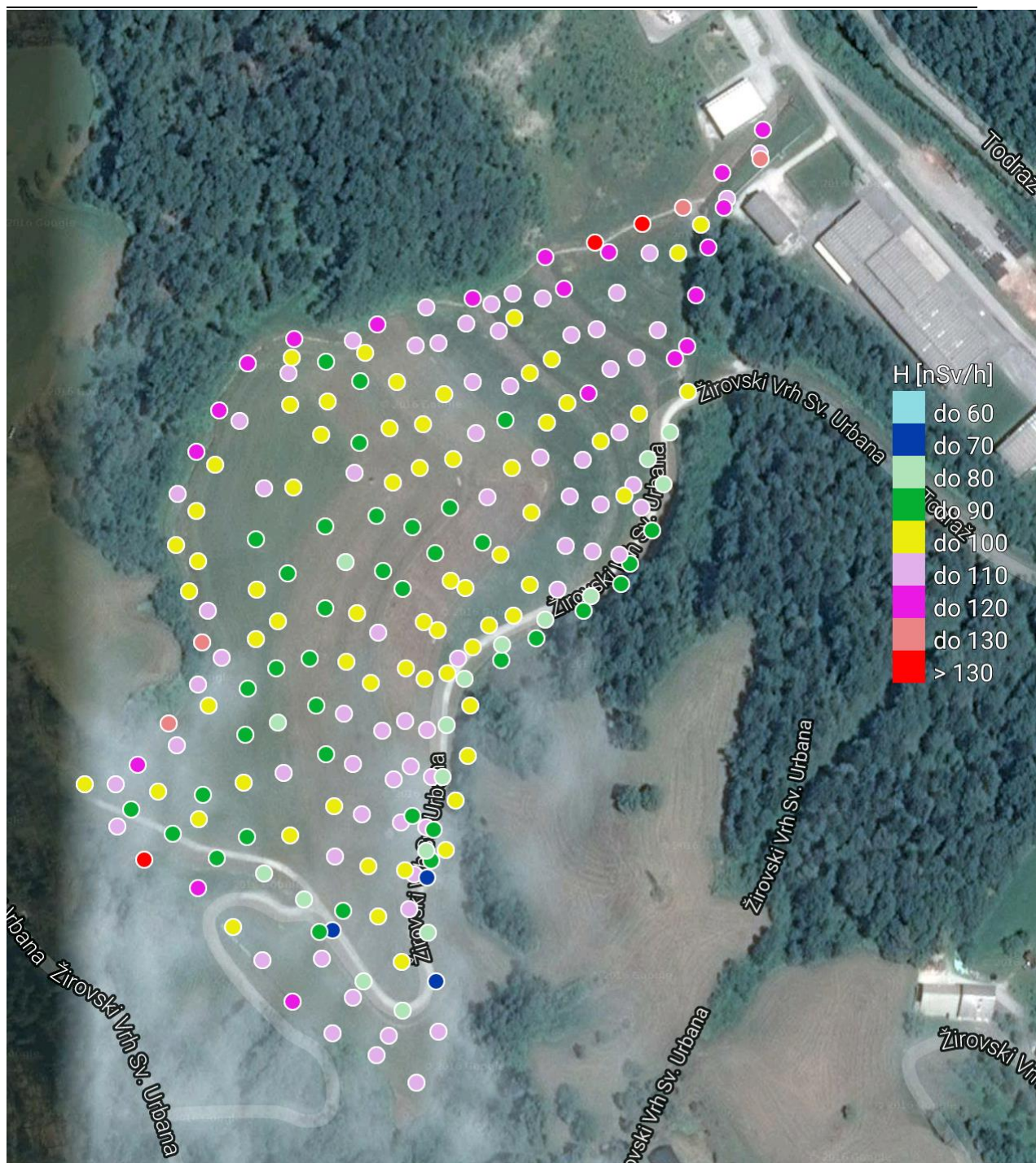
Slika 16: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

V splošnem velja [14], da k sevanju ozadja oziroma k zunanjemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in černobilska kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred černobilsko kontaminacijo [15] 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 černobilska kontaminacija višja v zgornjih plasteh.

V letu 2015 so bile skladno s programom radiološkega monitoringa [4] izvedene meritve

hitrosti doze z merilnimi inštrumenti na odlagališču Boršt na površini odlagališča in na zunanjem robu odlagališča, kar je bilo nazadnje izvedeno v letu 2011. Rezultati so v tabeli V.5.2. Sicer so izmerjene hitrosti na površini odlagališča Boršt v okviru pričakovanih vrednosti. Nadzor v preteklosti je pokazal, da odlagališči Jazbec in Boršt ne prispevata več povišane doze gama sevanja v okolici.

Meritve absorbirane doze na odlagališču Jazbec je v letu 2016 izvedla Agencija za radioaktivne odpadke s svojimi merilnimi inštrumenti. Iz poročila Meritve doznega polja na odlagališču Jazbec, številka ARAO 05-01-001/ME/16-SVS-12 povzemamo rezultate meritev (Slika 17).



Slika 17: Meritve hitrosti doze zunanjega sevanja gama na površini odlagališča Jazbec. Meritve na višini 1 m, povprečevalno območje 25 m. Meritve je izvedel M. Eržen iz Agencije za radioaktivne odpadke.

Izmerjene hitrosti na površini odlagališča Jazbec 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. Nadzor v preteklosti

je pokazal, da odlagališče Jazbec ne prispeva več povišane doze gama sevanja v okolici odlagališča.

Meritve absorbirane doze na odlagališču Boršt je v letu 2016 izvedel RŽV, Služba za varstvo pred sevanji, Jože Rojc z merilnim instrumentom instrument Automes 6150 AD6/h ser. št.: 129288 s sondo AD/h-b ser. št.: 129537 dne 9.11.2016. Meritve so na sliki (Slika 18).



Slika 18: Meritve hitrosti doze zunanjega sevanja gama na površini odlagališča Boršt. Meritve je izvedel J. Rojc iz Službe varstva pred sevanju Rudnika Žirovski vrh d.o.o.

Iz meritev hitrosti doze na odlagališču Boršt izhaja, da ne odlagališče prispeva k povečanju doze zunanjega 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, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [6] in *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [7]. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996, [18]), ki smo jih uporabljali v izračunih pred letom 2005.

Pri oceni efektivne ekvivalentne doze pri inhalaciji radonovih kratkoživih potomcev smo uporabili dozno konverzijo po *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [7]. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [7] ima osnovo v ICRP 65 [17].

V skladu z [7] 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 2016 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 [17]. Čase zadrževanja v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [19]. 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 2016 je:

$E = 1,4 \pm 0,5 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

$E = 1,0 \pm 0,4 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 10 let,

$E = 0,4 \pm 0,1 \mu\text{Sv}$ 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 [21]. 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 *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [7].

Za povprečni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na območju Gorenje Dobrave smo privzeli vrednost 0,4 [6], 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 [21]. 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 [22] 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 2016 je koncentracija radona povečana za $2,7 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3$. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2016:

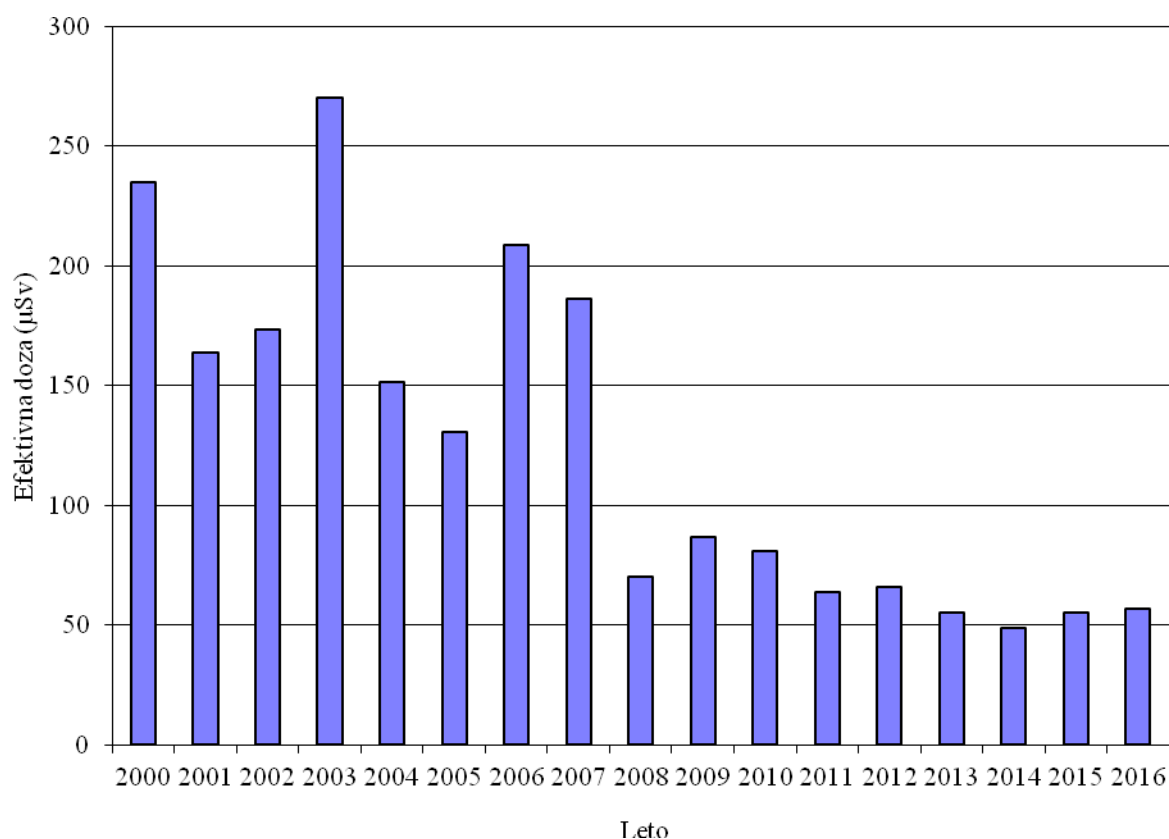
E = 57 ± 17 μSv za odraslega prebivalca,
E = 54 ± 18 μSv za otroka starega 10 let,
E = 62 ± 21 μSv za otroka starega 1 leto.

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2016 prejeli dozo $67 \pm 20 \mu\text{Sv}$. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje, so manj obremenjeni in so prejeli dozo $48 \pm 14 \mu\text{Sv}$. Negotovosti ocene doz so podane s faktorjem pokritja $k=2$.

Ocenjene učinkovite doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za obdobje 2008-2016 so si podobne in so bistveno nižje kot pred izvedenimi zapiralnimi deli. Če je bilo znižanje v letu 2007 glede na leto 2006 posledica spremenjene metodologije izračuna doze (namesto metodologije iz ICRP 50 [17][16], metodologija iz Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji [7] ter ravnovesni faktor na prostem 0,4 in ne 0,45; sprememba metodologije je oceno doze znižala za okoli 20 %, pa je nižja doza po letu 2008 posledica majhnega ocenjenega prispevka rudniškega radona.

Največji delež k celotni dozi zaradi rudnika Žirovski vrh prispeva inhalacija radonovih kratkoživih potomcev. Letna učinkovita doza od prenehanja proizvodnje se je do leta 2008 gibala med 0,15 mSv in 0,3 mSv ([Slika 19](#)), 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 (V 2016 npr. $2,7 \text{ Bq/m}^3$ medtem ko je bilo ocenjeno povečanje koncentracije radona zaradi vpliva RŽV v 2003 $8,7 \text{ Bq/m}^3$).

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 četrtina, kar smo ocenili iz razlike koncentracij radona na območju, kjer je možno z meritvami zaznati vpliv rudnika in območju kjer vpliva ni. Glede na izvedena sanacijska dela na odlagališčih, se je izkazalo, da ocena prispevka rudniškega radona z odštevanjem izmerjenih koncentracij ni več ustrezna [1]. Po letu 2009 (vključno z letom 2009) 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 četrtina pač pa le še okoli 5 %.



Slika 19: 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 2016 meritev vzorcev hrane ni bilo v programu 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) in znaša:

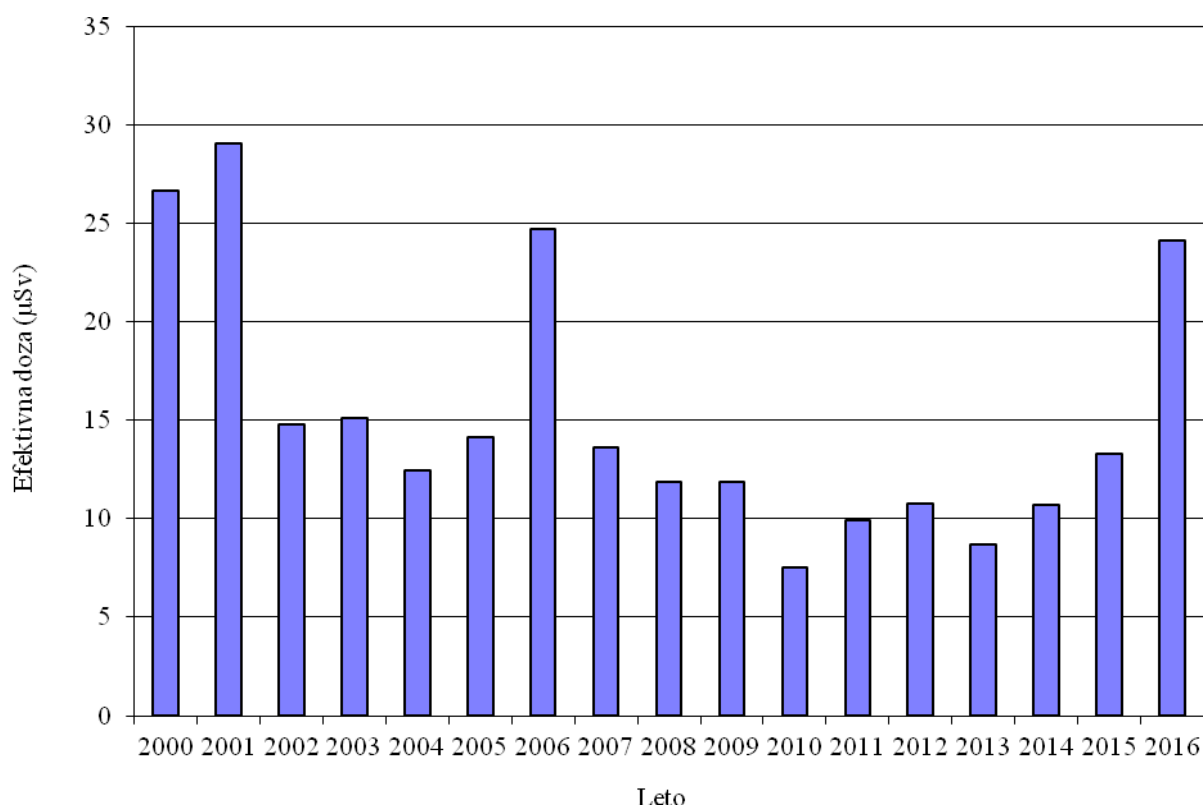
$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 24,1 \pm 9,9 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 30,0 \pm 12,4 \mu\text{Sv}$ za otroke stare 10 let,

$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 27,8 \pm 711,5 \mu\text{Sv}$ za otroke stare 1 leto,

Ker so merski podatki na volje le za U-238 in Ra-226, smo privzeli, da so Po-210, Pb-210 in Bi-210 v ravnotežju z Ra-226.

Izračunana letna efektivna doza je večja kot v preteklih letih (Slika 20) in je predvsem posledica pomanjkanja podatkov saj, so na voljo le podatki za koncentracije U-238 in Ra-226 v enkratnih vzorcih Brebovščice PO. Za količine zaužite vode smo upoštevali [25].



Slika 20: 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 2015 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 [25]. Za radon v hišah je pretvorbeni faktor $0,01 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$, na prostem pa $0,25 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$. Upoštevali smo faktor slabitve sevanja zaradi stavbe, čas zadrževanja zunaj in znotraj stavb in faktor ravnotežja na prostem in v hišah. Prišteli smo tudi dozo zunanjega sevanja zaradi depozicije radonovih potomcev.

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

$$E = 0,9 \mu\text{Sv}.$$

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

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč

V letu 2015 smo izvajali 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 Brebovščice. Posamezni prispevki k dozi po različnih prenosnih poteh so podani v tabeli ([Tabela IV-1](#)). Za prispevke prenosnih poti smo uporabili podatke meritev iz leta 2016. 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 | 1,4 | 1,0 | 0,4 |
| | - Rn, kratkoživi potomci | 57 | 54 | 62 |
| Ingestija | - U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi | (24,1) | (30,0) | (27,8) |
| | - ribe (Ra-226, Pb-210) | - | - | - |
| | - kmetijski pridelki – mleko (Ra-226, Pb-210) | - | - | - |
| Zunanje sevanje | - γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija) | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | - γ sevanje dolgoživih radionuklidov | - | - | - |
| | - γ sevanje v okolici odlagališč | - | - | - |

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2016 je:

59 μSv (0,059 mSv) za odraslega prebivalca

56 μSv (0,056 mSv) za otroka starega 10 let

63 μSv (0,063 mSv) za otroka starega 1 leto

(zaokroženo, prispevek vode ni upoštevan).

Po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS, št. 49/2004)* 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[8]. Izračunani prispevek za odraslega prebivalca predstavlja približno 20 % avtorizirane mejne vrednosti.

Letne efektivne doze odraslega prebivalca se gibljejo med 0,1 in 0,35 mSv ([Slika 21](#)). 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 [20]. Pred tem smo v izračunih dozne obremenjenosti uporabljali hitrosti dihanja za težko delo preko vsega dneva, kar je preveč konzervativna predpostavka. V primeru, da bi računali po enaki metodologiji kot pred letom 2007, so ocenjene letne efektivne doze okoli 10 % višje. V letu 2009 smo

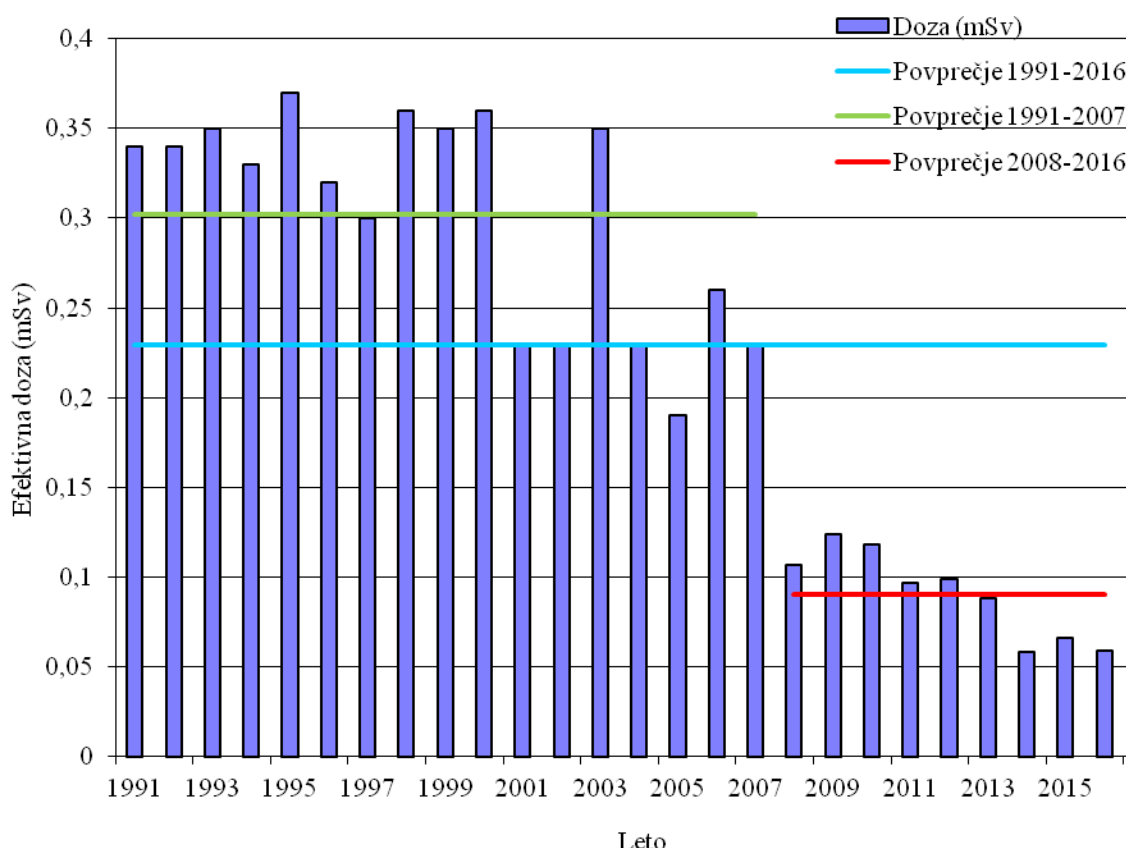
Izbrisano

spremenili metodologijo ocene prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona, saj z merskimi metodami po izvedenih zapiralnih delih, prispevka ni bilo več mogoče oceniti. V obdobju 2014-2015 je v prispevku k oceni doze zaradi uživanja hrane upoštevano le mleko, niso pa upoštevan ostala živila, za katera ni rezultatov meritev po letu 2005. V letu 2016 zaradi nismo več ocenjevali doze zauživanja hrane, saj merskih podatkov ni.

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

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 .

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 21: Skupne letne efektivne 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 [26], 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 2016 je 0,059 mSv, 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 in je dne 24. 4. 1996 predpisal Zdravstveni inšpektorat RS) in vrednosti, ki so bile izmerjene v programu nadzora za leto 2016.

Avtorizirane vrednosti iz leta 1996 so že zastarele. Po izvedenih zapiralnih delih in sanacijskih ukrepih bi bil čas, da se jih na novo določi. Predlagamo, da upravljavca obeh odlagališč podata predlog za nove avtorizirane vrednosti na Upravo RS za jedrsko varnost.

Tabela V-1: Avtorizirane mejne vrednosti in izmerjene vrednosti v programu nadzora

| Parameter | Avtorizirane vrednost | Izmerjena vrednost v 2016 |
|--|----------------------------|--------------------------------------|
| Dodatna letna efektivna ekvivalentna doza | 0,3 mSv/leto | 0,059 mSv |
| Izhajanje radona iz površin zunanjih jamskih objektov in odlagališča Jazbec v povprečju ne sme preseči vrednosti | < 0,1 Bq/m ² .s | Ni meritev |
| Izhajanje radona iz površin odlagališča Jazbec | < 0,7 Bq/m ² .s | 0,059 Bq/m ² .s |
| Hitrost doze zunanlega sevanja na področju zunanjih jamskih objektov ter odlagališč Jazbec in Boršt | < 200 nGy/h | 144 nGy/h na robu odlagališča Jazbec |

| | | |
|---|--|---|
| <p>V iztoku jamske vode povprečna letna koncentracija U_3O_8 ne sme preseči vrednosti 300 mg/m^3</p> | <p>300 mg/m^3</p> | <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>V iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec povprečna letna koncentracija U_3O_8 ne sme preseči vrednosti $600 \text{ mg U}_3\text{O}_8/\text{m}^3$</p> | <p>$600 \text{ mg/m}^3$</p> | <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>V iztoku jamske vode povprečna letna specifična aktivnost Ra-226 ne sme preseči vrednosti 60 Bq/m^3</p> | <p>60 Bq/m^3</p> | <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>V iztoku izcednih voda odlagališča Jazbec letna specifična aktivnost Ra-226 ne sme preseči vrednosti 40 Bq/m^3</p> | <p>40 Bq/m^3</p> | <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>V skupnem iztoku izcednih voda odlagališča Boršt letna</p> | <p>60 Bq/m^3</p> | <p>$7,3 \text{ MBq/m}^3$</p> |

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

| | | |
|---|--------|--|
| specifična aktivnost Ra-226 ne sem preseči vrednosti 60 Bq/m ³ , | | |
| Iztok jamske vode letna masa urana (U ₃ O ₈) 200 kg | 200 kg | 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. |
| 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. |
| Izcedne vode odlagališča Jazbec (kanal Jazbec, po točki mešanja) letna masa urana (U ₃ O ₈) 100 kg | 100 kg | 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 Jazbec (kanal Jazbec, po točki mešanja) letna aktivnost Ra-226 25 MBq | 25 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, |

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

| | | |
|--|-----------------------|---|
| | | primerjava z avtoriziranimi vrednostmi ni mogoča. |
| Izcedne vode odlagališča Boršt, letna aktivnost Ra-226 | 50 MBq | 3,3 MBq |
| 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. |

Oblikova

Izbrisan
EMISIJ OD

VI. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE

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.

1. Radioaktivni aerosoli, ki vsebujejo dolgožive radionuklide uranove razpadne vrste nastajajo predvsem pri izkopu, drobljenju, transportu, odlaganju in ravnanju jamske jalovine in kontaminiranega materiala. Vdihavanje teh delcev, njihovo usedanje na površine in imerzija ne predstavljajo večje dozne obremenitve. Ocenjujemo, da v letu od 2014 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 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.

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.

Od leta 2014 potekajo meritve koncentracije radona na 5 lokacijah v dolini Brebovščice, pred tem na 9 lokacijah. 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 [27]. 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, z Ra-226 jamska voda.

V Todraščici in Brebovščici niso presežene mejne vrednosti za pitno vodo predpisane z *Uredbo o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS, št. 49/2004)*. Največji delež k dozni obremenitvi bi pri uporabi te vode prispevala kontaminacija z uranom in Ra-226.

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

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, predvsem izvedba dodatnih drenažnih sistemov v odlagališču.

V odboju 2014-2016 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.

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, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih.

V sedimentih v Todraščici PO so koncentracije Ra-226 in Pb-210 večje kot v 2015, kar se ujema z rezultati meritev koncentracije Ra-226 in Pb-210 v zbirnih vzorcih vod, saj so tudi v teh vzorcih koncentracije obeh radionuklidov v 2016 večje kot v 2015. Trend povečevanja koncentracije Ra-226 in Pb-210 v sedimentih in vodah v Todraščici PO opazamo že tretje leto zapored.

Po letu 2009 so koncentracije vseh treh radionuklidov v sedimentih voda v okolici RŽV ustaljene. Program nadzora radioaktivnosti sicer ne omogoča rednega spremljanja ampak le občasna preverjanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih.

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

6. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v času obratovanja rudnika ta prispevek znašal le 0,01 % skupne radioaktivnosti v orni plasti tal. Po letu 1990 se je prispevek useda znižal skoraj za cel velikostni razred in s tem tudi kontaminacija zemlje. S prekritjem obeh rudniških odlagališč ter zaprtjem jame je ostala kot vir radioaktivnih prašnih delcev samo resuspenzija.

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

Imerzijski prispevek kratkoživih radonovih potomcev v zraku je zelo majhen in znaša 0,9 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 2016 ocenili na 0,059 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,056 mSv in za otroke stare 1 leto 0,063 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 (0,059 mSv) predstavlja približno pet odstotkov letne doze za prebivalstvo, ki jo določajo predpisi Republike Slovenije in mednarodna priporočila oz. 20 % 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.
11. Že več let ugotavljamo in opozarjamo, da se program nadzora radioaktivnosti ne izvaja v skladu s programoma predvidenima v Varnostnem poročilu za odlagališče Jazbec in v Varnostnem poročilu za odlagališče Boršt. Določene meritve se ne izvede, kar pomeni težjo oceno vpliva na okolje, predvsem pa oceno zadrževanja prehajanja radionuklidov iz odlagališč v okolje.

Obenem je potrebno poudariti da je zaradi prenehanja aktivnosti v jami in na obeh odlagališčih z imisijskim monitoringom vedno težje spremljati vplive v okolju, bolj pomemben pa postaja nadzor emisij. Predvsem z nadzorom emisij se bo v prihodnje lahko spremljalo in ocenjevalo stanje pregrad, ki preprečujejo prehajanje radionuklidov v okolje. Zato je opuščanje ali neizvajanje programa nadzora emisij nesprejemljivo. Zaradi neizvajanja programa nadzora emisij iz odlagališča Jazbec v 2016 ni mogoča npr. niti primerjava z avtoriziranimi vrednostmi za ekshalacijo radona iz odlagališča ali skupne vrednosti tekočih emisij. Zato na tem mestu izpostavljamo, da je nujno pripraviti ustrezen program dolgoročnega nadzora emisij in imisij, ki bo omogočal spremljanje stanja odlagališč.

VII. PREDLOGI

Zaradi lažjega spremljanja radioaktivnosti v okolici RŽV, sprememb zaradi izvedenih zapiralnih del, nejasnosti glede programa monitoringa radioaktivnosti (prekrivanje obdobja po zapiranju odlagališča Jazbec in odlagališča Boršt), neizvedenih meritev, ki so bile v programu monitoringa v posameznih letih in nekaterih nezanesljivih meritev v obdobju predlagamo naslednje:

- *Programa nadzora radioaktivnosti v okolici RŽV je zelo skrčen in pomanjkanje meritev zelo otežuje oceno vplivov na okolje in oceno doz prebivalstva. Menimo, da je potrebno celoten program nadzora radioaktivnosti revidirati in si postaviti cilje, kaj želimo s programom spremljati (na nujnost revizije programa opozarjamo že več let). Ocene doz ob redkih meritvah niso več smiselne.*
- *Avtorizirane mejne vrednosti so še iz leta 1996 (V soglasju k lokacijski dokumentaciji št. 531-4/231/76-34/L14 jih je dne 24. 4. 1996 predpisal Zdravstveni inšpektorat RS). Vrednosti so stare in določene na osnovi obratovalnih izkušenj. Po izvedenih zapiralnih delih in sanaciji odlagališč. Menimo, da bi bilo potrebno določiti nove avtorizirane meje. Predlagamo, da upravljavca odlagališč zaprosita za nove avtorizirane meje pri pristojnem upravnem organu (Uprava RS ja jedrsko varnost). Trenutni program izvajanja nadzora radioaktivnosti sploh ne omogoča primerjavo z vsemi avtoriziranimi vrednostmi, tako da primerjave sploh nimamo.*
- *V nadaljevanju navajamo nekaj predlogov glede meritev v programu monitoringa (ki se sicer ponavljajo iz prejšnjih poročil, saj nikoli niso bile upoštevane ali strokovno zavrnjene):*

⇒ **RADON**

- ✓ *Menimo, da je smiselno, da se ohrani kvartalne meritve z detektorji sledi za emisijski nadzor izpustov radona. Zato predlagamo, da se v program monitoringa ponovno vključi kvartalne meritve, polletni interval pa se ne uporablja. Takšne meritve lahko služijo le za primerjavo koncentracije radona s preteklimi leti, težje pa se spremlja kakšne so sezonske variacije in vplivi vremenskih razmer na koncentracijo radona.*
- ✓ *Predlagamo da se redno spremlja ekshalacijo radona iz odlagališč in potrjuje majhen vpliv na koncentracije radona v dolini Brebovščice in Todraščice. V 2012-2015 je meritve izvajal RŽV, v letu 2016 le na odlagališču Boršt, na odlagališču Jazbec, ki je v 2016 prišlo pod upravljanje Agencije za radioaktivne odpadke se v 2016 meritev sploh ni izvajalo. Merski rezultati ne podajajo merilne negotovosti,*

meritve niso izvedene v letnem in zimskem času,. Obenem ni prav, da »onesnaževalec« z meritvami nadzira samega sebe. Eden od možnih načinov potrditve meritev, ki jih izvaja RŽV, d.o.o. sam je, da se meritve izvede podvojeno s pooblaščenim izvajalcem meritev. Predlog podajamo že četrto leto zapored!

⇒

VODE

Če želimo spremljati razširjanje radionuklidov po vodni poti od virov, to je iz obeh odlagališč in jame, v okolje, je potrebno jemati enkratne vzorce vode na vseh lokacijah, ki omogočajo oceno vpliva, to je na lokacijah: Brebovščica PRED, Brebovščica PO, Todraščica PRED, Todraščica PO, Sora PRED in SORA PO in meriti vsaj koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210. Zaradi velikega doznega pretvorbenega faktorja pa bi bilo smiselno tudi merjenje koncentracije Po-210.

- ✓ *Menimo, da je potrebno na odlagališčih Jazbec in Boršt ter v jamski vodi meriti letne tekočinske izpuste U3O8 in Ra-226. V letu 2014 -2016 ni bilo izvedenih meritev, ki bi omogočile letno oceno tekočinskih izpustov U3O8 iz Jazbeca in jame. Ob zelo zmanjšanem imisijskem monitoringu samo reden emisijski monitoring omogoča spremljanje izpustov v okolje in preko modelov oceno vplivov na okolje.*
- ✓ *Zaradi povečevanja aktivnosti Pb-210 je potrebno Pb-210 v vodah vključiti tako v emisijski kot imisijski monitoring voda.*

⇒

PREHRAMBENA POT

- ✓ *V programu monitoringa ni več prehranske prenosne poti. Menimo, da bi moral biti v rednem programu vsaj nadzor trave/sena iz odlagališč (v 2015 so te meritve bile izvedene). Vsaj preko tega indikatorja bi lahko ocenjevali prenos radionuklidov v prehrambeno verigo. Nadzor bi moral biti letni. Občasno pa bi bil potreben tudi monitoring mleka, predlagamo triletno periodo, če se trava uporablja za krmljenje krav. Ob tem je potrebno izvesti vedno tudi meritve mleka iz referenčne lokacije.*

Meritve sedimentov naj se izvajajo v istih časovnih obdobjih na vseh lokacijah. Izvajanje meritev samo v določenih in različnih obdobjih ne omogočajo ocene sproščanja snovi iz odlagališč in jame v okolje oziroma letnih ocen.

VIII. REZULTATI MERITEV

V.1. ZRAK

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

Tabela V.1.3. Povprečja koncentracije Rn-222, merjena z detektorji sledi

| Merilno mesto | Koncentracija zimsko obdobje | | Koncentracija poletno obdobje | | Koncentracija letno povprečje |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| | 1.10.2015 - 1.4.2016 | | 1.4.2016-30.09.2016 | | |
| | Bq/m ³ | | Bq/m ³ | | Bq/m ³ |
| DOLINA BREBOVŠČICE | | | | | |
| Pod transportnim trakom | 36 ± 4 | | 34 ± 4 | | 35 ± 4 |
| Todraž | 9 ± 2 | | 22 ± 2 | | 16 ± 2 |
| Gorenja Dobrava | 27 ± 4 | | 22 ± 2 | | 25 ± 3 |
| Gorenja Dobrava | 27 ± 4 | | 19 ± 2 | | 23 ± 3 |
| Gorenja Dobrava povprečje | 27 ± 5 | | 21 ± 2 | | 24 ± 4 |
| Gorenja vas (MP, Brencce) | 25 ± 4 | | 15 ± 2 | | |
| Gorenja vas (MP, Brencce) | 21 ± 4 | | 15 ± 2 | | |
| Gorenja vas (MP, Brencce) povprečje | 23 ± 5 | | 15 ± 2 | | 19 ± 4 |
| | 4.1.-1.4.16 | 1.4.-29.6.16 | 29.6.-30.09.16 | 30.9.16-3.1.17 | |
| ZVD- Ljubljana* | 14 ± 4 | 9 ± 3 | 20 ± 4 | 21 ± 4 | 16 ± 4 |

* primerjalna lokacija

DOLINA TODRAŠČICE

| Merilno mesto | Koncentracija | Koncentracija | Koncentracija | Koncentracija | Koncentracija letno povprečje |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| | 1. četrletje | 2. četrletje | 3. četrletje | 4. četrletje | |
| | 4.1.-1.4.16 | 1.4.-29.6.16 | 29.6.-30.09.16 | 30.9.16-3.1.17 | |
| | Bq/m ³ | Bq/m ³ | Bq/m ³ | Bq/m ³ | |
| Bačenski mlin | 45 ± 6 | 25 ± 5 | 36 ± 6 | 41 ± 6 | 37 ± 6 |
| Debelo Brdo | 13 ± 2 | 7 ± 3 | 12 ± 4 | 15 ± 4 | 12 ± 3 |

Tabela V.1.3. nadaljevanje, Četrtna povprečja koncentracije Rn-222, merjena z detektorji sledi

JALLOVIŠČE JAZBEC

| Merilno mesto | Koncentracija zimsko obdobje 1.10.2015 - 1.4.2016 Bq/m ³ | | Koncentracija poletno obdobje 1.4.2016-30.09.2016 Bq/m ³ | | Koncentracija letno povprečje |
|--|---|--|---|--|-------------------------------|
| | | | | | |
| Jazbec , SV brežina odlagališča, spodaj* | 33 ± 4 | | 32 ± 4 | | 33 ± 4 |

* do 2013 je bila lokacija Jazbec, SV brežina odlagališča, zgoraj

JALLOVIŠČE BORŠT

| Merilno mesto | Koncentracija 1. četrtnetje 4.1.-1.4.16 Bq/m ³ | Koncentracija 2. četrtnetje 1.4.-29.6.16 Bq/m ³ | Koncentracija 3. četrtnetje 29.6.-30.09.16 Bq/m ³ | Koncentracija 4. četrtnetje 30.9.16-3.1.17 Bq/m ³ | Koncentracija letno povprečje Bq/m ³ |
|--------------------|---|--|--|--|--|
| | | | | | |
| Boršt, ovinek-most | 22 ± 4 | 20 ± 4 | 35 ± 6 | 32 ± 4 | 27 ± 5 |
| Boršt etaža | 24 ± 4 | 9 ± 3 | 18 ± 4 | 24 ± 4 | 19 ± 4 |
| MP Boršt | 29 ± 4 | 18 ± 5 | 24 ± 4 | 36 ± 4 | 27 ± 4 |
| Kozolec Potokar | 30 ± 4 | 17 ± 4 | 39 ± 8 | 54 ± 6 | 35 ± 6 |

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 2016

| | BREBOVŠČICA PO | | TODRAŠČICA PO | |
|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| | Bq/m ³ | Pretok (m ³ /s) | Bq/m ³ | Pretok (m ³ /s) |
| | <i>Raztopljen</i> | | <i>Raztopljen</i> | |
| I. kvartal | | 1,31 | 18,2 ± 1,0 | 0,25 |
| II. kvartal | | 0,89 | 22,6 ± 1,5 | 0,17 |
| III. kvartal | | 0,19 | 50,9 ± 6,0 | 0,04 |
| IV. kvartal | | 0,93 | 28,1 ± 2,1 | 0,18 |
| Povprečje | | 0,83 | 30 ± 3 | 0,16 |

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 2016

| | BREBOVŠČICA PO | | TODRAŠČICA PO | |
|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| | Bq/m ³ | Pretok (m ³ /s) | Bq/m ³ | Pretok (m ³ /s) |
| | <i>Raztopljen</i> | | <i>Raztopljen</i> | |
| I. kvartal | | 1,31 | 8,7 ± 0,9 | 0,25 |
| II. kvartal | | 0,89 | 2 ± 0,8 | 0,17 |
| III. kvartal | | 0,19 | 2,3 ± 1,1 | 0,04 |
| IV. kvartal | | 0,93 | 2,2 ± 0,2 | 0,18 |
| Povprečje | | 0,83 | 3,8 ± 0,2 | 0,16 |

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 2016**

| | BREBOVŠČICA PO | | TODRAŠČICA PO | |
|--------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | Koncentracija (Bq/m ³) | Pretok (m ³ /s) | Koncentracija (Bq/m ³) | Pretok (m ³ /s) |
| I. kvartal | | 1,31 | 70,3 ± 2,4 | 0,25 |
| II. kvartal | | 0,89 | 12,2 ± 1,6 | 0,17 |
| III. kvartal | | 0,19 | 6,8 ± 1,0 | 0,04 |
| IV. kvartal | | 0,93 | 12,3 ± 1,4 | 0,18 |
| Povprečje | | 0,83 | 25,4 ± 0,9 | 0,16 |

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 2016

Datum odvzema vzorca: 19.06.2016

| 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 | | | | | |
| Brebovščica, Gorenja Dobrava | 371 ± 31 | 8,1 ± 0,9 | | | |
| Todraščica pred | 8,8 ± 1,2 | 4,5 ± 0,6 | | | |
| Todraščica po | 64,5 ± 4,6 | 3,2 ± 0,3 | 12,5 ± 1,0 | 6,2 ± 0,4 | |
| Sora pred, most Gorenja vas | | | | | |
| Sora po, Žabja vas | 37,6 ± 4,0 | 3,9 ± 0,8 | | | |

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

Datum odvzema vzorca: 05.12.2016. RŽV se je odločil za dodatne meritve v Todraščici.

Meritve niso bile predvidene v programu nadzora

| 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 | 0,6 ± 0,1 | 0,7 ± 0,2 | 4,4 ± 1,3 | | |
| Todraščica po | 18,6 ± 1,5 | 2,6 ± 0,3 | 9,2 ± 1,6 | | |

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.2 VODA

Meritve radioaktivnosti podtalnice v okolju RŽV

Tabela V.2.7 Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vrtinah na lokaciji RŽV in v okoliških vodnjakih v letu 2016

Meritve niso bile izvedene.

| Oznaka vrtine | Koncentracija | | |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | U-238 (Bq/m ³) | Ra-226 (Bq/m ³) | Pb-210 (Bq/m ³) |
| BS 30 Mrzlek, Dolenja Dobrava | | | |
| | | | |
| Vodnjaki Dolenja Dobrava | | | |
| Drmota | | | |

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Brebovščica po

Tabela V.3.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Brebovščice po vletu 2016
Kompozitni vzorec pobiran v pasteh v obdobju 11.1.-24.11.2016
Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

| Datum vzorčenja | 24.11.2016 | | | | |
|-----------------|------------|---|----|-------|-------|
| IZOTOP | Bq/kg | | | Bq/kg | Bq/kg |
| U-238 | 63 | ± | 6 | | |
| Ra-226 | 80 | ± | 7 | | |
| Pb-210 | 27 | ± | 21 | | |
| Th-230 | 69 | ± | 30 | | |

Lokacija: Todraščica po

Tabela V.3.2: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Todraščice po vletu 2016
Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

| Datum vzorčenja | 6.6.2016 | | | 24.11.2016 | | |
|-----------------|----------|---|----|------------|---|----|
| IZOTOP | Bq/kg | | | Bq/kg | | |
| U-238 | 52 | ± | 5 | 52 | ± | 5 |
| Ra-226 | 77 | ± | 75 | 79 | ± | 7 |
| Pb-210 | 65 | ± | 6 | | | |
| Th-230 | | ± | | 124 | ± | 23 |

Lokacija: Sora po

**Tabela V.3.3: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v
sedimentih Sore po vletu 2016**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

| Datum vzorčenja | 24.11.2016 | | | |
|-----------------|------------|-------|-------|-------|
| IZOTOP | Bq/kg | Bq/kg | Bq/kg | Bq/kg |
| U-238 | 36 ± 3 | | | |
| Ra-226 | 54 ± 5 | | | |
| Pb-210 | 41 ± 4 | | | |
| Th-230 | 42 ± 23 | | | |

V.4. KRMA

Tabela V.4.2.: Vsebnost U-238, Ra-226 in Pb-210 v vzorcih krme s področja RŽV v letu 2016

Datum odvzema vzorca: 20.07.2016

| Lokacija (seno) | Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca) | | |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------|
| | U-238 | Ra-226 | Pb-210 |
| Odlagališče Boršt, seno | 0,63 ± 0,26 | 1,20 ± 0,05 | 37,70 ± 3,10 |

Datum odvzema vzorca: 20.07.2016

| Lokacija (seno) | Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca) | | |
|-----------------|--------------------------------------|-------------|--------------|
| | U-238 | Ra-226 | Pb-210 |
| Gorenja Dobrava | 0,88 ± 0,24 | 1,10 ± 0,04 | 25,80 ± 2,10 |

V.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

Tabela V.5.1 Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV v 2016

Rezultati so podani v mSv

| | 1. kvartal | 2.kvartal | 3.kvartal | 4. kvartal | Letna doza |
|------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| <i>Jazbec</i> | 0,322 | 0,263 | 0,285 | 0,293 | 1,163 |
| <i>Boršt</i> | 0,336 | 0,340 | 0,336 | 0,346 | 1,358 |
| <i>Boršt v ograji*</i> | 0,298 | 0,317 | 0,336 | 0,324 | 1,275 |

* 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 2015, 2014, 2012, 2011, 2010
- [3] G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2010
- [4] Varnostno poročilo za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in dopolnilno varnostnega poročila, št. UZJV---OP/01A, rev. A, september 2012
- [5] Regulatory Guide 4.14, "Radiological Effluent and Environmental Monitoring at Uranium Mills," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1980
- [6] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in interevencijskih nivojih, Ur. L. RS št. 49/2004.
- [7] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, 115/2003.
- [8] Lokacijska dokumentacija št. 531-4/231/76-34/L14 z dne 24.04.1996.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] BENEDIK, Ljudmila, VREČEK, Polona. Determination of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in environmental samples. *Acta chim. slov.*, 2001, no. 2, vol. 48, str. 199-213.
- [12] Eichrom Technologies. Analytical Procedures, Thorium in Water. ACW10, Rev. 1.0
- [13] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poročila IJS 1990-1995.
- [14] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [15] Poročila o monitoringu radioaktivnosti v življenskem okolju RS, 1964-2006, ZVD
- [16] Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
- [17] Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, 1993, Pergamon Press, New York.
- [18] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
- [19] M.J. Križman, Metodologija za ocenjevanje doz sevanja za referenčne skupine prebivalstva na območju RŽV, RŽV, 2008.
- [20] 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.
- [21] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1990.
- [22] Principles of Monitoring for the Radiation Protection of Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [23] J. Rojc, Prehrambene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
- [24] 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
- [25] 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.

-
- [26] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1989.
- [27] M. Križman, Radon in njegovi kratkoživi potomci v okolju kot posledica rudarjenja urana na Žirovskem vrhu, doktorska disertacija, Ljubljana, 1999
- [28] 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
- [29] P. Jovanovič, G. Omahen, Ovrednotenje merskih podatkov radioaktivne kontaminacije vzorcev krme za leto 2014, št. poročila LMSAR-20140018-PJ, ZVD, 2014.
- [30] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in temperate Environments, Technical Report No. 364, IAEA 1994.
- [31] Handbook of Parameter Values for the prediction of radionuclide transfer in terestial and freshwater Environments, Technical Report No. 472, IAEA 2010
- [32] P. Jovanovič, G. Omahen: Ovrednotenje merskih podatkov radioaktivne kontaminacije vzorcev krme za leto 2016, LMSAR-20160024-PJ, ZVD, september 2016