

Center za fizikalne meritve

Št.: LMSAR-27/2016-GO

Datum: 25.03.2016

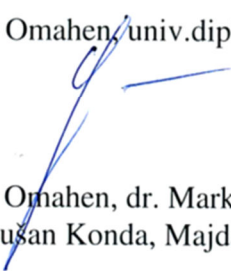
**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA  
ŽIROVSKI VRH MED IZVAJANJEM KON NE UREDITVE  
ODLAGALIŠ JAZBEC IN BORŠT  
TER  
OCENA IZPOSTAVLJENOSTI PREBIVALCEV V VPLIVNEM  
OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH  
PORO ILO ZA LETO 2015**



**Ljubljana, marec 2016**

**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.d. 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:	129/5/16 z dne 03.03.2016
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 2015
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. Borut Smodiš, doc. dr. Ljudmila Benedik, doc.dr. Zvonka Jeran, dr. Benjamin Zorko, dr. Marijan Nečemer, mag. Branko Vodenik, Janja Smrke
Slika na naslovni strani:	Odlagališče Jazbec s kmetijo Podlešan v ozadju, foto Jože Roje
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 KONTROLNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT TER OCENA  
IZPOSTAVLJENOSTI PREBIVALCEV V VPLIVNEM OKOLJU RUDNIKA URANA  
ŽIROVSKI VRH, POROČILO ZA LETO 2015**

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 2015 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,066 mSv, za otroka starega 10 let 0,083 mSv in za otroka starega 1 leto 0,137 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 2015 was about 0,066 mSv, for 10 years old child 0,083 mSv and for 1 year old child 0,137 mSv. This represents approximately 5 % of recommended dose limit for public exposure.

---

**KAZALO**

<b>UVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>I. METODE MERJENJA .....</b>	<b>10</b>
<b>I.1 ZRAK.....</b>	<b>10</b>
<b>I.2 VODE .....</b>	<b>11</b>
<b>I.3 SEDIMENTI.....</b>	<b>12</b>
<b>I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5 RIBE.....</b>	<b>13</b>
<b>I.6 MLEKO .....</b>	<b>13</b>
<b>II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI.....</b>	<b>14</b>
<b>II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO     ZAKLJU KU KON NE UREDITVE ODLAGALIŠ JAZBEC IN BORŠT, LETO     2015 .....</b>	<b>14</b>
<b>II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠ A     BORŠT.....</b>	<b>19</b>
<b>II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠ A     JAZBEC .....</b>	<b>22</b>
<b>II.4 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI IMISIJ ODLAGALIŠ A     JAZBEC (NADZOR OKOLJA) .....</b>	<b>23</b>
<b>III. OVREDNOTENJE REZULTATOV .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1 ZRAK.....</b>	<b>24</b>
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210.....	24
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju.....	24
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov .....	33
<b>III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA .....</b>	<b>35</b>
III.2.1 Vodotoki .....	35
III.2.2 Podtalnica .....	40
<b>III.3 SEDIMENTI .....</b>	<b>41</b>
<b>III.4 MLEKO.....</b>	<b>44</b>
<b>III.5 RIBE .....</b>	<b>45</b>
<b>III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....</b>	<b>45</b>
<b>IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA.....</b>	<b>47</b>
<b>IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRA NI POTI .....</b>	<b>47</b>
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	47
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	48
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija .....	48
<b>IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....</b>	<b>50</b>

---

IV.2.1	Ocena doze zaradi ingestije – hrana .....	50
IV.2.2	Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda .....	52
<b>IV.3</b>	<b>DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....</b>	<b>53</b>
IV.3.1	Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	53
IV.3.2	Radon-222 in radonovi potomci .....	53
IV.3.3	Zunanje sevanje gama v okolici odlagališ .....	54
<b>IV.4</b>	<b>IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV .....</b>	<b>55</b>
<b>IV.5</b>	<b>IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV .....</b>	<b>57</b>
<b>V.</b>	<b>ZAKLJU KI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE.....</b>	<b>58</b>
<b>VI.</b>	<b>PREDLOGI.....</b>	<b>62</b>
<b>VII.</b>	<b>REZULTATI MERITEV .....</b>	<b>64</b>

---

## UVOD

Sistematski in celovit nadzor nad radioaktivnostjo v okolici rudnika urana Žirovski vrh poteka redno in neprekinjeno od decembra 1984, ko so v rudniku prišli s poskusno proizvodnjo uranovega tehnicega koncentrata. Z rudarjenjem so prenehali julija 1990. Proizvodnja uranovega tehnicega 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 nastajajočega 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 odlagališča Jazbec in Boršt, 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 zunanjskega 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 2015, drugem letu, ko se izvaja program dolgoročnega okoljskega monitoringa odlagališča Jazbec in peto leto po zaprtju odlagališča Boršt, je bil predviden program monitoringa v skladu z Varnostnim poročilom za odlagališče Jazbec (Varnostno poročilo za

---

odlagališ e rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in dopolnitvijo varnostnega poročila, št. UZJV---OP/01A, rev. A, september 2012. Finančna sredstva, ki jih je imel na voljo RŽV d.o.o., niso zadoščala za izvedbo celotnega programa (izjava RŽV d.o.o.). RŽV d.o.o. se je odločil za izvedbo meritev v obsegu, ki še omogoča spremljanje izpustov iz rudniških objektov.

V letu 2015 so bile v programu imisijskega monitoringa meritve koncentracije radona z detektorji sledi na lokacijah v dolini Brebovšice: Todraž, Pod transportnim trakom, Gorenja Dobrava in Gorenja vas. Predvidene so bile poletne meritve v mesecih IV-IX in X-III, ali se to ni moglo, četrtletne meritve.

Meritve ekshalacije radona na odlagališčih v letih 2015, 2014 in 2013 je izvedel Rudnik Žirovski vrh sam. V letih pred tem je bil določen del meritev, izveden skupaj s pooblaščenimi organizacijami, kar je omogočalo nek nadzor oziroma potrditev rezultatov.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2015 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Todražice, medtem ko lokacije iz Brebovšice niso bile v programu. V programu za leto 2015 so bile tudi meritve enkratno odvzetih vzorcev vode v Brebovšici v Gorenji Dobravi (lokacija BREBOVŠICA 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 2015 je bila v programu meritev tudi voda iz izvira Mrzlek v Dolenji Dobravi in voda iz kanala Jazbec.

V letu 2015 so bile izvedene meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih v Brebovšici, Todražici in Sori. V Brebovšici 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 Nemec), saj sicer niso predvidene v programu iz Dopolnitve varnostnega poročila za Odlagališ e rudarske jalovine, Rev. A. v Prilogi 14.7: Program monitoringa radioaktivnosti v okolju RUŽV in ocena izpostavljenosti prebivalstva v prehodnem (petletnem) obdobju po končanem ureditvi odlagališ Jazbec in Boršt ter jame. Interval vzorčenja sicer ne pokriva obdobja celega leta (1.1.-31.12.).

V letu 2015 ni bilo v programu meritev radioaktivnosti v vzorcih rib. Nazadnje se je v letu 2014 izvedlo meritve v ribah iz Brebovšice po vtoku voda iz rudniških objektov, v ribah iz Poljanske Sore in v ribah iz Selške Sore, ki predstavljajo referenčni vzorec.

V 2015 so se izvajale meritve zunanjskega 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.

Program meritev v letu 2015 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 končanem ureditvi odlagališ .



V letu 2015 smo za določanje posameznih prenosnih poti uporabili iste mikrolokacije ter enake analize oziroma merilne metode kot v preteklih letih, seveda z upoštevanjem zmanjšane obsega programa. Pri metodologiji ocene doze smo upoštevali najnovejša priporočila stroke in veljavno zakonodajo. Od leta 2007 dalje ocenjujemo dozo za tri starostne skupine: odraslega prebivalca, mladostnika (10 let) in otroka (1-2 leti). Tako so tudi v poročilu za leto 2015 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 vzorčenja in določevanja radionuklidov se v letu 2015 ne razlikujejo od metod v preteklih letih. V nadaljevanju naštevamo vse metode, ki so se uporabljale pri izvajanju nadzora v 2015 ali v preteklosti, kljub temu, da nekaterih meritev ni bilo v programu. Vse metode navajamo, ker se program monitoring po letih spreminja v skladu z varnostnim poročilom za odlagališče Jazbec in bodo nekatere metode aktualne še v naslednjih letih, etudi jih v letu 2015 nismo uporabili.

### I.1 Zrak

I.1.1 Za meritve koncentracije radona v okolju uporabljamo dve metodi.

Prva je določevanje koncentracije radona z detektorji sledi. Koncentracijo določimo 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/m<sup>3</sup>.

Druga metoda je adsorpcija radona na aktivnem oglju in je primerna za določevanje radona v krajšem časovnem obdobju. Ogleni adsorber za dva dni postavimo na merilno mesto in nato izmerimo zbrano aktivnost preko kratkoživih radonovih potomcev Pb-214 in Bi-214 z metodo VL spektrometrije gama. Metoda je zelo občutljiva in omogoča meritve koncentracij Rn-222 do 2-3 Bq/m<sup>3</sup>. Ogleni adsorberji so bili umerjeni na BFS v Nemčiji, Institut für Strahlenschutz, na interkalibracijah evropske skupnosti v NRPB v Veliki Britaniji in redno preverjeni s primerjalnimi laboratorijskimi meritvami. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025.

I.1.2 Zrak bioindikatorji (lišaji in mahovi)

Mah vzorčimo v krogu 20 m, lišaje pa zaradi majhne količine na večji površini v krogu 100 m ali več na lubju dreves (običajno debla bukve). Za geografske koordinate podamo eno samo vrednost. Vzorce v laboratoriju očistimo in odstranimo morebitne iglice, liste ali dele lubja. Nato jih nekaj ur sušimo pri 105-110 °C in pripravimo za meritve. Vzorce merimo z metodo visokoločljivostne (VL) spektrometrije gama na germanijevem detektorju in določimo dolgožive radionuklide U-238, Ra-226 in Pb-210. Detektor redno umerjamo s standardnimi vzorci in to kalibriramo. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025.

---

## I.2 Vode

Vodo iz potoka Brebovš ica smo vzor evali enkrat letno. Odvzelo se je 30 l vode. Vodo iz potoka Todraš ica smo vzor ili le ob delovnih dnevih in sicer po 1 L vode. Vzorce smo takoj po odvzemu prefiltrirali skozi filter (Milipore - 0,45  $\mu\text{m}$ ), nakisali s koncentrirano dušikovo (V) kislino ter shranili za kasnejšo laboratorijsko analizo.

- I.2.1 Raztopljeni U-238 smo v vzorcih površinskih vod dolo ali z radiokemi no 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 kon ani nevtronski aktivaciji in merjenju vrha gama U-239 na HP Ge detektorju z izvrtino [8]. Radiokemijski izkoristek smo dolo ili s sledilcem U-235. Spodnja meja ob utljivosti metode je nekaj  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Detektor smo umerili s standardnimi viri (Analytcs, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

Raztopljeni U-238 v teko ih vzorcih so v laboratoriju Erico Velenje dolo ali po metodi SIST EN ISO 17294-2:2005. Instrument je ICP-MS. Spodnja meja dolo anja je 0,1 mg U-238/m<sup>3</sup>, 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 dolo ali z metodo radiokemijske separacije Ra-226 in meritve na spektrometru alfa [10]. Vzorcju vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytcs, ZDA). Zatam smo dodali H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in sooborili Ba ter Ra v obliki PbSO<sub>4</sub>. Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki Ba(Ra)SO<sub>4</sub> z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in BaSO<sub>4</sub>. Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45  $\mu\text{m}$  filter. Tako pripravljen vir za meritve smo zalepili na aluminijasto ploš ico. Radiokemijski izkoristek smo dolo ili z meritvami Ba-133 na spektrometru gama, aktivnost Ra-226 pa smo izmerili na spektrometru alfa. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m<sup>3</sup>. Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytcs, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

- I.2.3 Za dolo itev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Po-209 (Analytcs, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO<sub>2</sub>. Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa dolo ili aktivnost Po-210. Pb-210 smo dolo ili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [11]. Izkoristek detektorja smo dolo ili s standardno raztopino Pb-210 (Analytcs, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2 Bq/m<sup>3</sup> in za Po-210 0,03 Bq/m<sup>3</sup>. Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

- I.2.4 Th-230 smo dolo ali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytcs, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomo jo Fe(OH)<sub>3</sub>, separirali z uporabo ekstrakcijskih rezin (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF<sub>3</sub>

---

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 določili v polletnih zbirnih vzorcih. V manjših vodotokih vzorcu ujemo 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 določili z metodo VL spektrometrije gama.

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

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

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

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

### **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 metode meritev akreditirane 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. Velikost 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 odlagališč.

Identifikacijo merilnih mest v naravi smo opravljali s pomočjo natančne karte terena in

---

kompassa. Pri meritvah smo uporabljali prenosni merilnik (to ka I.4.1) z možnostjo integracijskega odčitavanja. Merili smo na višini 1 meter od tal. Rezultate za okoliški ekvivalent doze podajamo v enotah  $\mu\text{Sv/h}$ .

## **I.5 Ribe**

Vzorci rib smo očiščeni in posušili. V primeru, da so bile vzorčne ribe, smo ribje meso ločili od kosti in ju analizirali ločeno, v primeru, da so bile vzorčne ribe premajhne, smo analizirali celotne ribe. Vsebnost radionuklidov Ra-226 in Pb-210 v tako pripravljenih vzorcih je bila določena s pomočjo visokoločilne spektrometrije gama, ki je akreditirana po standardu SIST ISO 17025.

## **I.6 Mleko**

I.6.1 Vzorec mleka za določitev U-238 in Ra-226 je bil sežgan na  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vzorcju sta bila dodana Ba-133 za določitev kemijskega izkoristka za Ra-226 in U-232 za določitev kemijskega izkoristka za U-238. Po žganju je bil vzorec razkrojen s pomočjo  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  in  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Po razkroju je bil vzorec uparjen do suhega in raztopljen v  $\text{HNO}_3$ . Temu je sledilo soobarjanje Ra s pomočjo  $\text{PbSO}_4$ . Po centrifugiranju je bila oborina, v kateri je bil Ra, raztopljena z  $\text{NaOH}$  in EDTA. Priprava vira za meritve Ra-226 je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z  $\text{BaSO}_4$  ter filtracije oborine skozi  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  filter. Tako pripravljen vir je bil pomeřen v spektrometru alfa. Iz preostalega supernatanta po centrifugiranju je bil sooborjen U s pomočjo  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . U je bil separiran od ostalih elementov na koloni UTEVA. Priprava vira za meritve je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z  $\text{NdF}_3$  ter filtracije oborine skozi  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  filter. Tako pripravljen vir je bil pomeřen v spektrometru alfa.

I.6.2 Vzorcju mleka za določitev Pb-210 je bil dodan Pb sledilec za določitev kemijskega izkoristka. Nato je bil vzorec razkrojen s pomočjo  $\text{HNO}_3$  in  $\text{HCl}$ . Preostanek po razkroju je bil prefiltriran, raztopina vzorca pa uparjena do suhega in ponovno raztopljena v  $\text{HCl}$ . Pb-210 je bil ločen od ostalih radionuklidov na koloni Sr Resin. Raztopina, v kateri je bil ločen Pb-210, je bila uparjena do suhega in preostanek raztopljen v vodi. Svinčni ioni so bili oborjeni z dodatkom  $\text{H}_2\text{SO}_4$  v obliki  $\text{PbSO}_4$  in preneseni na merilno ploščico. Tako pripravljen vir je bil pomeřen v plinskem proporcionalnem števcu.

## II. PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI

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

### II.1 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RŽV PO ZAKLJUČU KONE UREDITVE ODLAGALIŠ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2015

Program monitoringa radioaktivnosti okolja RŽV je iz dokumenta »Dopolnitev varnostnega poročila za odlagališča 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. Vzor evalna mesta z oznako \* pripadajo nadzoru odlagališča a hidrometalurške jalovine Boršt.

Vrsta in opis meritve	Vzor evalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor evanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>1. ZRAK</b>					
1.2. Radon (Rn-222)  (kontinuirna meritev) metoda z detektorji sledi, 1-3 detektorji/merilno mesto	Ba enski mlin* Debelo Brdo* Referen. lokacija Ljubljana-Polje	zrak	kontinuirno vzor evanje	kvartalno	4
<b>1. ZRAK BIOINDIKATORJI</b>					
1.3. U, Ra-226, Pb-210  VL gama spektrometrija	Boršt, neposredna okolica Referen na to ka (zunaj vplivnega obmo ja rudnika)	lišaji, mahovi (sestavljene vzorec)	sezonsko	sezonsko (jeseni)  <b>5. leto</b>	1 -

Vrsta in opis meritve	Vzorovalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>2. VODE – BREBOVŠICA, TODRAŠICA IN SORA</b>					
2.1. U-238					
raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
5. leto kvartalno	Todrašica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvaratalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todrašica pred Todrašica po Poljanska Sora pred Poljanska Sora po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)		1 1 1 1
				<b>5. leto</b>	
2.2. Ra-226					
raztopljen, specifična radiokemijska analiza					
5. leto kvartalno	Todrašica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todrašica pred Todrašica po Poljanska Sora pred Poljanska Sora po	voda	enkratno vzorčenje (povprečni pretok)		1 1 1 1
				<b>5. leto</b>	

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

Vrsta in opis meritve	Vzor evalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor evanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>2. VODE – BREBOVŠ ICA, TODRAŠ ICA IN SORA</b>					
2.3. Pb-210 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza					
5. leto kvartalno	Todraš ica po	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Todraš ica po Poljanska Sora po	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	<b>5. leto</b>	1 1
2.4. Po-210 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza					
enkratni odvzem	Todraš ica po Poljanska Sora po	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	<b>5. leto</b>	1 1
2.5. Th-230 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza					
enkratni odvzem	Todraš ica po Poljanska Sora po	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	<b>5. leto</b>	1 1

Opomba: povpre ni pretok pomeni pretok v normalnih vremenskih razmerah, ki trajajo nekaj asa.



Vrsta in opis meritve	Vzoročno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>2. VODE – PODTALNICA</b>					
Ni v programu za 2015					
<b>3. SEDIMENTI – BREBOVŠICA, TODRAŠICA IN SORA</b>					
3.1. U – specifična na VL gama spektrometrija	Todrašica po Brebovšica po (Gorenja Dobrava) - izveden en letni vzorec po dogovoru z dr. B. Vokal Nemec iz URSJV v 2013, ni bilo v rednem programu Sora po – izveden en letni vzorec po dogovoru z dr. B. Vokal Nemec iz URSJV v 2013, ni bilo v rednem programu Zahodni Boršt potok	sediment	kontinuirno polletno vzorčenje  enkratno vzorčenje	polletno  letno <b>5. leto</b>	2  1
3.2. Ra-226, VL gama spektrometrija	Isto kot v to. ki. 3.1.	sediment	isto kot v to. ki. 3.1.	isto kot v to. ki. 3.1.	2 1
3.3. Pb-210, VL gama spektrometrija	Isto kot v to. ki. 3.1.	sediment	isto kot v to. ki. 3.1.	isto kot v to. ki. 3.1.	2 1
<b>4. VODNA BIOTA – RIBE</b>					
NI V PROGRAMU za 2015					

Vrsta in opis meritve	Vzor evalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor evanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>5. HRANA – PRIDELKI, KRMA</b>					
5.1. Ra-226, VL gama spektrometrija trava/seno in mleko	Potokar Referen no mesto  Ni izvedeno za mleko, ni bilo mogo e zagotoviti vzorca	mleko	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko  <b>5. leto</b>	1 1
5.2. Pb-210, VL gama spektrometrija	Potokar Referen no mesto  Ni izvedeno za mleko, ni bilo mogo e zagotoviti vzorca	mleko	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko  <b>5. leto</b>	1 1
<b>6. ZUNANJE SEVANJE GAMA</b>					
6.1. Zunanje okolje TLD	S brežina odlagališ a Boršt, zgoraj	zunanje sevanje	kontinuirno	kvartalno, <b>5. leto</b>	4
6.2. Neposredna okolica odlagališ , posamezne merilne to ke prospekcija, merilni instrument	Odlagališ e Boršt - okolica	zunanje sevanje	letno	letno  <b>5. leto</b>	50

## II.2 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠ A 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 vzorca/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorca	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>ZRAK</b>					
<sup>222</sup> Rn, detektor sledi	Kozolec Potokar* MP BORŠT* BORŠT etaža BORŠT zgoraj*	zrak	kontinuirno, (po potrebi 2 detekt. isto asno)	etrletno 3. – 5. leto 3. – 5. leto 1. – 5. leto 3. – 5. leto	4 4 4 4
<sup>222</sup> Rn, kontinuirno vzorčenje, merilnik radona	MP BORŠT BORŠT etaža BORŠT zgoraj	zrak	ob asno, 3-4 dni, isto asno z meritvijo PAEC	polletno,  1. - 5. leto	2 2 2
<sup>222</sup> Rn kratkoživi potomci, kontinuirno vzorčenje, spektrometrija alfa	MP BORŠT Ni izvedeno v obsegu iz programa – merjeno le manjši del leta – konec leta	zrak	kontinuirno rpanje zraka	vsako uro 1. - 5. leto	vsako uro
<sup>222</sup> Rn kratkoživi potomci, trenutni vzorec spektrometrija alfa	drenažni tunel	zrak	ob asno	pred vstopom v drenažni tunel, 1. – 5. leto	po potrebi
<b>IZHAJANJE RADONA IZ TAL</b>					

<sup>222</sup> Rn, radonski tok iz tal, 48 urna izpostavljenost, metoda z ogljenimi adsorberji ali merilnikom radona	odlagališ e Boršt 4 kontr. to ke na brežinah 3 kontr. to ke na zgornjem ravnem delu odlagališ a	zrak	ob asno, sušno obdobje, zmerno mokro obdobje	polletno poleti in jeseni, brez padavin 1. – 5. leto	8 6
--	--	------	---	---	--------

Opomba: (\*) 1. in 2. leto vklju eno v Program radioaktivnosti okolja RUŽV po zaklju ku kon ne ureditve odlagališ Jazbec in Boršt, prehodno (petletno) obdobje

Vrsta in opis vzor enja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor enja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>VODE</b>					
<sup>238</sup> U, <sup>226</sup> Ra (raztopljena), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ca, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , spektrometrija (uran), standardne metode (kem. parametri)	BPG SDIJ SDB ZDZ ZDV TUNEL	voda	dnevno, mese ni sestavljeni vzorec	mese no 1. – 5. leto	12 12 12 12 12 12
<sup>238</sup> U, (raztopljen), temperatura vode, pH, elektroprevod. raztopljene snovi, usedljive snovi, <sup>238</sup> U (razt), KPK <sub>b</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ca, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> spektrometrija (uran) standardne metode (kem. parametri)	BPG (to ka mešanja) SDIJ, CDZ J-3/2 SDB ZDZ ZDV 13 TUNEL	voda	ob asno, enkrat mese no	mese no 1. – 5. leto	12 12 4 12 12 12 12
Ca, Cl <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , standardne metode (kem. parametri)	Todraž PO	voda	dnevno, mese ni sestavljeni vzorec	mese no, 1. – 5. leto	12

<sup>238</sup> U (raztopljen) temperatura vode, pH, elektroprevodnost, raztopljene snovi, <sup>238</sup> U (razt), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> spektrometrija (uran) standardne metode (kem. parametri)	Todraš ica Pred	voda	ob asno, polletno	polletno 3. – 5. leto	2 2
	Todraž PO				
<sup>238</sup> U, <sup>226</sup> Ra, <sup>210</sup> Pb, <sup>210</sup> Po (raztopljeni), specifi na radiokemijska analiza	SDIJ ali BPG	voda	ob asno, enkrat letno	letno 1. – 5. leto povpre ni pretok	1

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

Vrsta in opis vzor enja/meritve	Merilno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor enja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>ZUNANJE SEVANJE</b>					
Zunanje (gama) sevanje, TLD dozimeter	BORŠT etaža	-	ob asno	etrletno 1. – 5. leto	4

### II.3 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI EMISIJ ODLAGALIŠ A JAZBEC

Program monitoringa emisij iz odlagališ a Jazbec je iz dokumenta »Dopolnitev varnostnega poro ıla za odlagališ e rudarske jalovine Jazbec, št. elaborata UZJV---OP/01A, številka projekta UJZV-B103/048, september 2012«, izdelovalec IBE d.d. in sicer je opredeljen v tabeli 14-9 na strani 14-87/107.

Tabela 14-9: Parametri rednega in izrednega monitoringa odlagališča Jazbec

Kontrola	Pogostost	Meritve in analize
Iztok izcednih voda iz propusta MM Jazbec	1 x letno	pretok, T vode, pH, el. prevodnost, KPK <sub>6</sub> , <sup>238</sup> U, <sup>226</sup> Ra, <sup>230</sup> Th, <sup>210</sup> Pb, <sup>210</sup> Po, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , raztopljene snovi
Tekoči izpust iz odlagališča Jazbec, MM Kanal Jazbec	1 x letno	<sup>238</sup> U, <sup>226</sup> 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	1 x letno	v piezometru: nivo podtalnice, T vode, pH, el. prevodnost v laboratoriju: <sup>238</sup> U, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , K, Na, raztopljene snovi
Podtalnica v piezometrih na zunanjem robu odlagališča, piezometri BS-25, BS-27, BS-28, BS-29	1 x letno	v piezometru: nivo podtalnice, T vode, pH, el. prevodnost v laboratoriju: <sup>238</sup> U, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , 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 (mesece IV-IX, X-III), v kolikor to ni mogoče četrtletno (I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII)
Ekshalacija <sup>222</sup> Rn na prekrivki: 2 x zgornja etaža, 5 x brežine	1 x letno	ogljeni filtri, 48 ur ali aktivna meritev z instrumentom in merilnim zabojem za radon, 4 ure/merilno mesto
Zunanje sevanje (gama), SV brežina odlagališča, zgoraj površina odlagališča (20 merilnih točk) in zunanji rob (10 merilnih točk)	2 x letno 1 x letno	TLD merilni instrument
Geodetska opazovanja, 32 kontrolnih točk	na 3 leta	geodetska oprema, satelitska navigacija
Opazovanje stabilnosti brežin, Inklinometra INC-JA1, INC-JA2	1 x letno	merilni instrument

#### II.4 PROGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI IMISIJ ODLAGALIŠČ A 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, $^{238}\text{U}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$
Dolenja Dobrava, Mrzlek	1 x letno	ocena pretoka, raztopljene snovi, $^{238}\text{U}$ , $^{226}\text{Ra}$
Piezometer BS-30	1 x letno	v piezometru: nivo podtalnice, T vode, pH, el. prevodnost, v laboratoriju: $^{238}\text{U}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , raztopljene snovi
Dolina Brebovšice 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 letno (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 ve v programu. RŽV d.o.o. ne izvaja dejavnosti, ki bi povzro ale 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 podro ju sta:

- Odlagališ e rudarske jalovine Jazbec,
- Odlagališ e hidrometalurške jalovine Boršt.

V asu zapiranja rudnika je RŽV d.o.o. izvedel ve del z namenom zmanjšanja emisij radona. Vsa dela so opisana v poro ilih o Nadzoru radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriš anja uranove rude in ocena vplivov na okolje [2]. V nadaljevanju zato le naštevamo izvedena dela.

##### Odlagališ e Jazbec

- ✓ V obdobju 2000-2006 je bila v propust odlagališ a Jazbec vgrajena zra na zadelka.
- ✓ V letu 2008 so bila v propustu odlagališ a Jazbec vgrajena kovinska vrata s sifonom za odvod izcednih voda iz propusta v kanal Jazbec.
- ✓ V 2000 so odstranili nasutje jamske jalovine z neprekritih površin platoja P-10, kar ima od leta 2000 dalje za posledico manjše prispevke radona v okolje iz teh površin.
- ✓ V letu 2003 je bila nazaj v jamo odpeljana uranova ruda, ki se je nahajala na platuju nad nekdanjo drobilnico.
- ✓ V letu 2007 sta bili preoblikovani JZ brežina in zgornja etaža odlagališ a Jazbec, izdelovanje prekrivne plasti in zatravitev (60 % pokritje površine).
- ✓ V letu 2008 prekrito celotno odlagališ e Jazbec. S tem se je ekshalacija radona na površini odlagališ e iz vrednosti 0,5 – 1,0 Bq/m<sup>2</sup>s zmanjšala na nivo naravnega ozadja (okoli 0,02 Bq/m<sup>2</sup>s).

Povpre na vrednost ekshalacije radona iz odlagališ a 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 pooblaš ena organizacija. Predlagamo, da vsaj del meritev ekshalacije v 2016 **naredita skupaj RŽV d.o.o. in pooblaš ena organizacija** in se na ta na in preveri zanesljivost meritev RŽV d.o.o. ter tudi oceni merilna negotovost, ki je RŽV d.o.o. ne podaja. 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 ve ja. V letu 2014 je bilo veliko padavin z nižjimi poletnimi temperaturami, zato ocenjujemo, da je bilo izhajanje radona iz zemlje v letu 2014 manj. Leto 2015 je bilo bolj sušno, ve razpok in menimo, da tudi ve izhajanja radona. Je pa pri meritvah ekshalacije pomembno kdaj se jih izvaja (zelo suho obdobje ali razmo en teren), koliko asa traja meritev (eno uro ali ve dni) in ne nazadnje od lokacije meritev. Zato bi bilo smiselno pri meritvah, ki se jih izvaja, navajati tudi te podatke, ki jih v asu pisanja poro ila nismo uspeli pridobiti.

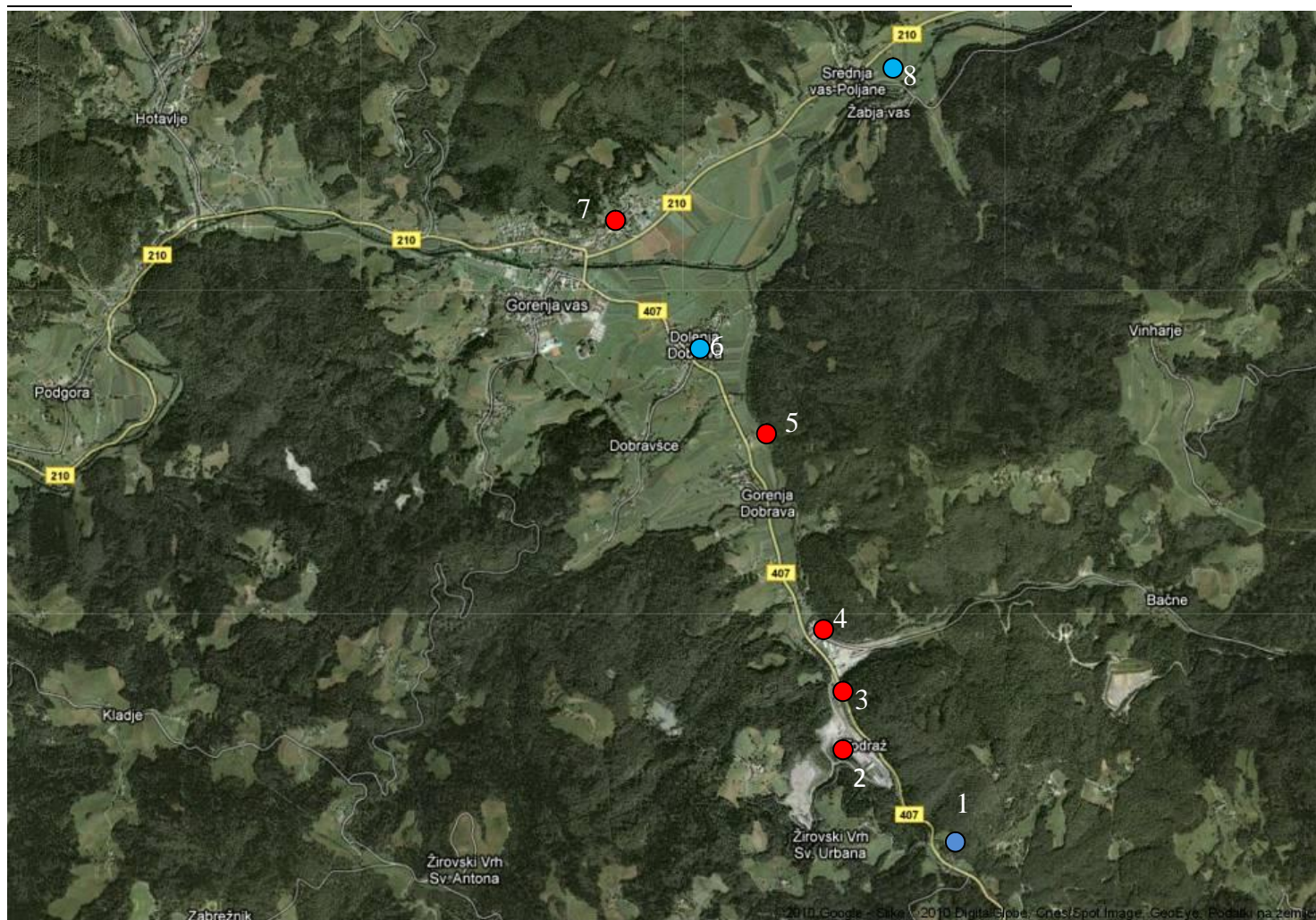
**Tabela III-1: Povpre na ekshalacija radona na odlagališ ih Jazbec in Boršt v letih 2012-2015 (Bq/m<sup>2</sup>s), izra unana iz meritev, ki so bile izvedene v razli nih obdobjih leta. Meritve je izvajal RŽV sam, merilnih negotovosti v rezultatih ne podaja.**

Leto	2015	2014	2013	2012
<b>Odlagališ e Jazbec</b>				
Zimsko obdobje	Ni v programu	Ni v programu	0,034	Ni izvedeno (razmo enost terena)
Letno obdobje	0,063	0,022	0,028	0,025
<b>Odlagališ e Boršt</b>				
Zimsko obdobje	0,042	0,031	0,030	Ni izvedeno (razmo enost terena)
Letno obdobje	0,054	0,024	0,080	0,037

#### Odlagališ e Boršt

- ✓ Vgradnja kon ne prekrivke v letu 2008, pokritih 50 % celotne površine odlagališ a Boršt.
- ✓ V letu 2009 je s prekrivko pokrito celotno odlagališ e Boršt .
- ✓ Z vgrajevanjem prekrivne plasti se je ekshalacija radona na odlagališ u Boršt zmanjšala na povpre no vrednost  $0,04 \pm 0,03 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ .

V letu 2015 so se meritve koncentracije radona z detektorji sledi izvajale na lokacijah v dolini Brebovš ice in Sore (Slika 1). Z letom 2014 so opuš ene meritve na lokacijah Brebovnica, Dolenja Dobrava in Srednja vas.



Slika 1: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v dolini Brebovšice 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 vasaž

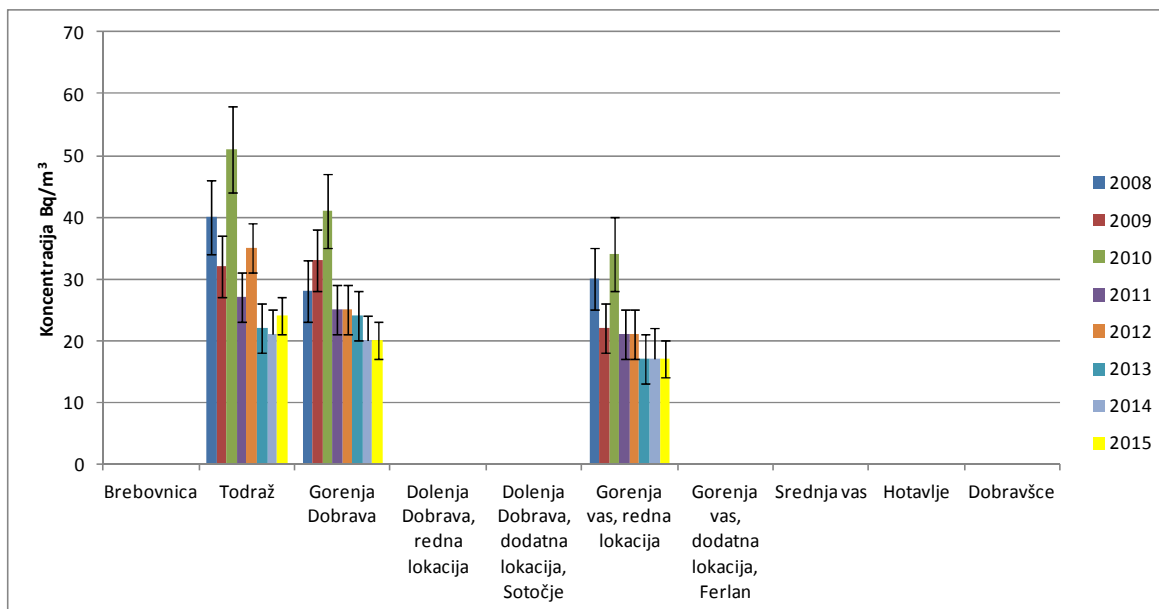
Redna lokacija v Gorenji vasi (lokacija št. 7) je bila v letu 2008 na zahtevo lastnika zemljiš a prestavljena iz travnika, torej iz odprtega prostora, 20 m višje med hiše.

V tabeli (Tabela III-2) povzemamo povpre ne vrednosti koncentracije radona v dolini Brebovš ice, izmerjene z detektorji sledi, v letih 2008-2015.

**Tabela III-2: Povpre ne letne koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, v dolini Brebovš ice v letih 2008-2015 (Bq/m<sup>3</sup>)**

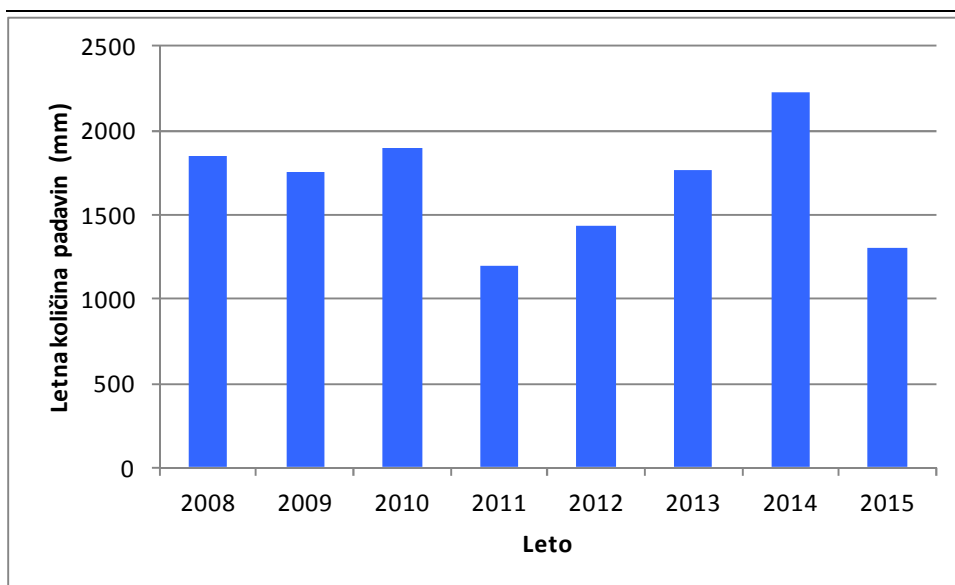
	Brebovnic a	Todraž	Gorenja Dobrava	Dolenja Dobrava, redna lokacija	Dolenja Dobrava, dodatna lokacija, Soto je	Gorenja vas, redna lokacija	Gorenja vas, dodatna lokacija, Ferlan	Srednja vas	Hotavlje	Ljubljan a
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2015</b>		24 ± 3	20 ± 3			17 ± 3				20 ± 3
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2014</b>		21 ± 4	20 ± 4			17 ± 5				17 ± 3
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2013</b>	24 ± 4	22 ± 4	24 ± 5	18 ± 4		17 ± 4		17 ± 4		17 ± 4
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2012</b>	22 ± 4	35 ± 6	25 ± 4	21 ± 4		21 ± 4		21 ± 4		17 ± 4
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2011</b>	31 ± 5	27 ± 4	25 ± 4	23 ± 4		21 ± 4		23 ± 4		19 ± 4
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2010</b>	31 ± 6	51 ± 7	41 ± 6	27 ± 5	46 ± 7	34 ± 6	27 ± 5	35 ± 5	32 ± 6	33 ± 5
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ), leto <b>2009</b>	39 ± 5	32 ± 5	33 ± 5	26 ± 4	27 ± 5	22 ± 4	28 ± 5	22 ± 4	29 ± 5	15 ± 3
Povpre na koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ) leto <b>2008</b>	43 ± 6	40 ± 6	28 ± 5	27 ± 5	27 ± 4	30 ± 5	35 ± 5	25 ± 4		26 ± 5

Koncentracija radona je bila v 2015 najvišja v Todražu (Slika 2), kjer so sicer tudi običajno izmerjene najvišje koncentracije.



**Slika 2: Koncentracije Rn-222 v dolini Brebovšice in Poljanske Sore, merjeno z detektorji sledi. Prikazane so le lokacije, na katerih so se izvajale meritve v vseh letih v obdobju 2008-2015.**

V letih 2013-2015 so vrednosti izmerjene z detektorji v Todražu na najnižji ravni v zadnjih letih. Izhajanje radona iz prekrivke na odlagališčih se je običajno 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 množično deževje kot npr. v oktobru 2014 množično dvigne letno količino padavin, a so bila lahko v letu vseeno daljša sušna 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 končanem zapiralnih delih v letih 2008 in 2009 so emisije radona iz odlagališč komaj kaj višje od ozadja.



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 določili 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 Brebovšica, 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 RŽV« [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 teko em letu. Študija predlaga izra un 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 emer je

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

Z uporabo navedene metodologije dobimo za leto 2015 prispevek rudniškega radona na lokaciji Gorenja Dobrava:

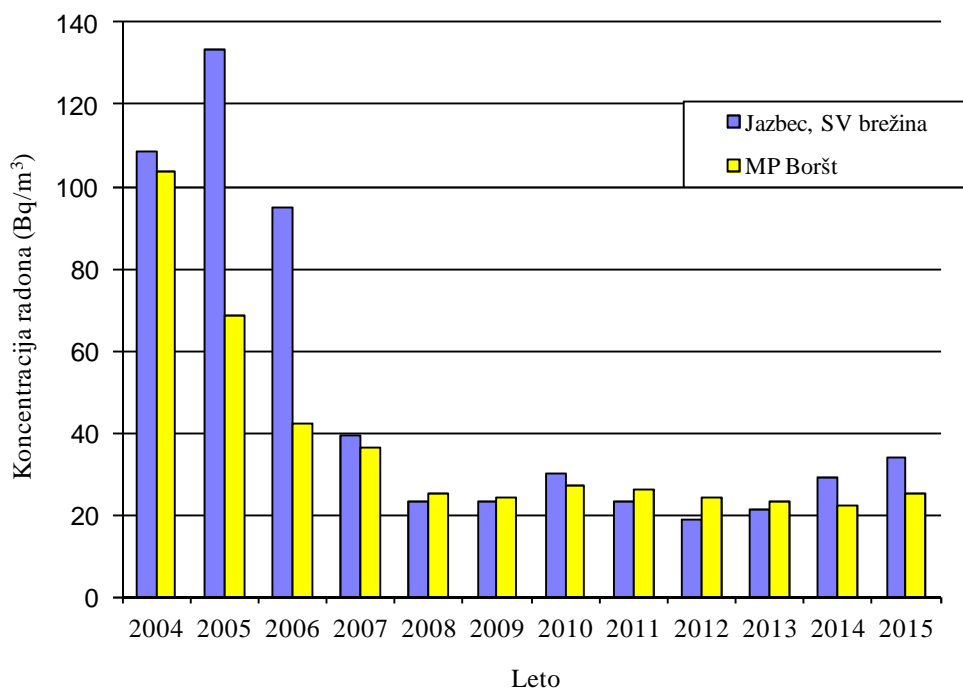
$$\Delta C_{Rn,Y} = 7,3 \pm 1,5 \text{ Bq/m}^3 * \frac{34 \pm 4 \text{ Bq/m}^3}{94 \pm 9 \text{ Bq/m}^3} = 2,6 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3$$

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

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

Ocena rudniškega prispevka po navedeni metodologiji je konservativna, saj ne upošteva ozadja v izra unanih povpre jih 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 - 2015 za več kot dvakrat nižje kot pred 2008 (Slika 4). Na ostalih lokacijah v okolici RŽV, predvsem pa v dolini Brebovske, večjih sprememb oziroma opaznega zmanjšanja koncentracije radona ni. 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 Brebovske 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**

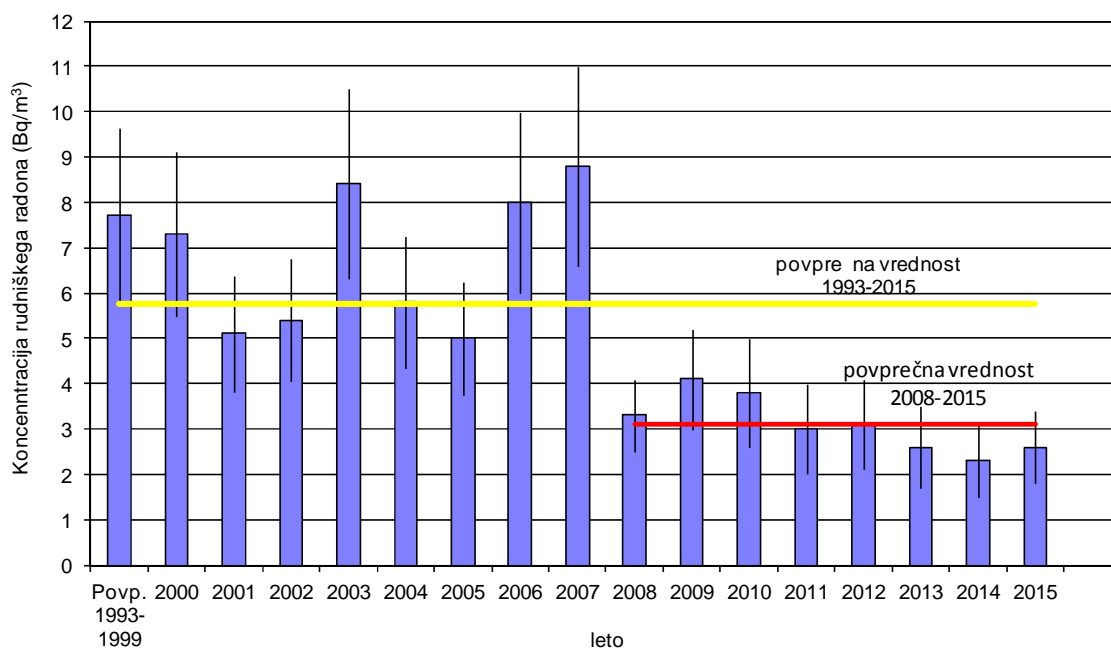
Iz tabele (Tabela III-3) in slike (Slika 5) lahko ugotovimo, da se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirjajo na nižji ravni kot je bila pred letom 2000. Po obsežnih zapiralnih delih v 2007 in 2008 je prispevek rudniškega radona padel. Z merilnimi metodami prispevka ni več možno 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/m<sup>3</sup>)**

Leto	Povpre je 1993-2000	Povpre je 2001-2007
Prispevek RŽV	7,6	6,6 ± 3,4

Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
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



**Slika 5: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju**

Povpre na vrednost letnega prispevka RŽV h koncentraciji radona v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2015 je 5,8 Bq/m<sup>3</sup>. Izrazit je padec prispevka h koncentraciji radona v okolici RŽV po izvedenih delih na odlagališčih Jazbec in Boršt. Povpre na vrednost pove anja koncentracije radona v obdobju 2008-2015 je 3,1 Bq/m<sup>3</sup> 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 mese nih meritev dvodnevni koncentracij Rn-222 po dolini Brebovš ice med Gorenjo vasjo in Brebovnico ter na odlagališ ih Jazbec in Boršt. Namesto mese nih meritev se je dvakrat letno, v zimskem in letnem asu, izmerilo višinski profil po dolinah Brebovš ice in Todraš ice.
- ✓ V letu 2012 so bile meritve zaradi pomanjkanja finan nih sredstev izvedene le v letnem asu, meritve v zimskem asu pa so bile zaradi navedenih težav narejene na za etku leta 2013.
- ✓ Od vklju no leta 2014 meritve dvodnevni koncentracij (meritve se izvajajo isto asno na ve lokacijah) ni ve v programu.

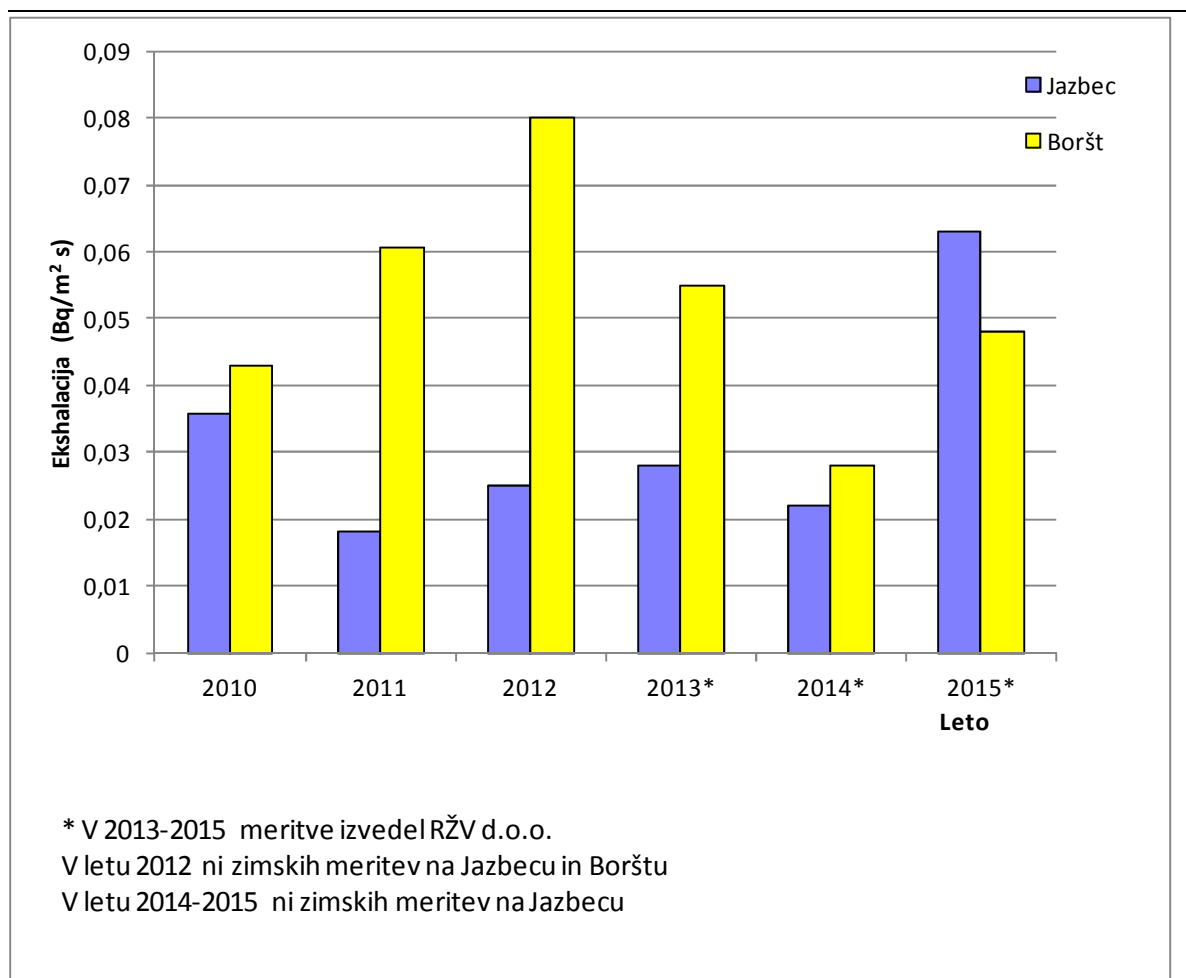
### II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

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

Povpre na letna ekshalacija radona iz odlagališ je prikazana na sliki (Slika 6). Ker se meritve ekshalacije izvajajo ob asno, so rezultati mo no odvisni od vremenskih razmer v asu meritve. Suha, razpokana zemlja vpliva na ve jo ekshalacijo, medtem ko mokra in zbita zemlja prepuš a manj radona. Po letu 2011 RŽV d.o.o. sam izvaja meritve in po druga ni metodi kot v letih poprej pooblaš ena organizacija za izvajanje meritev radona, vendar je v letih 2011-2012 RŽV d.o.o. svojo metodo preverjal z dolo enim številom, ki sta jih hkrati izvedla RŽV d.o.o. in pooblaš ena organizacija. Predlagamo, da dolo en del meritev tudi v bodo e naredita skupaj pooblaš ena organizacija, ki izvaja meritve radona z metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025 in RŽV d.o.o. in se na ta na in preveri metodo RŽV d.o.o. oziroma izvede primerjalne meritve.

Ekshalacija radona se je na prekritih površinah zmanjšala iz **0,5 – 1,0 Bq/m<sup>2</sup>s** na vrednosti nekaj **10<sup>-2</sup> Bq/m<sup>2</sup>s**.

Poudariti je potrebno, da so izmerjene vrednosti ekshalacije radona nekajkrat manjše od avtorizirane vrednosti za ekshalacijo radona iz površine odlagališ a: 0,1 Bq/m<sup>2</sup>s za odlagališ e Jazbec in 0,7 Bq/m<sup>2</sup>s za odlagališ e Boršt.



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

Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališih Jazbec in Boršt so vplivala na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališih. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije 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 so vrednosti nižje okoli 20 Bq/m<sup>3</sup>. Zanimivo je, da izmerjene vrednosti z detektorji sledi ne potrjujejo meritev ekshalacije. Pri akevali 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 u Jazbec višje kot na odlagališču u Boršt. Odlagališče u Jazbec se namreč nahaja pod mejo povprečne letne inverzijske plasti, ki je po podatkih ARSO v dolinah Brebovšice in Todrašice na ~ 500 m n.v., odlagališče u 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

Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todrašici in Brebovšici. 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:

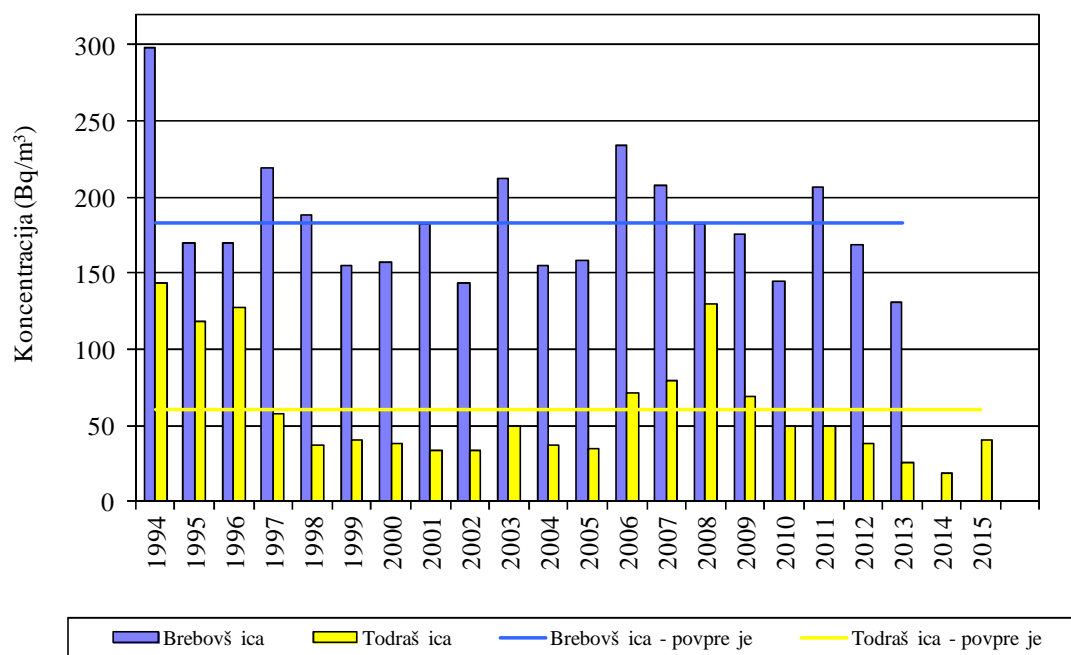
- ✓ Do leta 2011 je bilo vzorčenje na izbranih lokacijah v Brebovšici in Todrašici kontinuirano, merilo pa se je sestavljeni mesečni vzorec. V letu 2012 in 2013 se je v Brebovšici in Todrašici merilo kvartalne sestavljene vzorce.
- ✓ Od 2014 ni več v programu meritev kvartalnih sestavljenih vzorcev v Brebovšici.
- ✓ 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 Brebovšici na lokaciji v Gorenji Dobravi in ne na lokacijah Brebovšica pred, Sora pred in Sora po. V 2015 so v programu spet vse lokacije.
- ✓ V 2014 ni bilo v programu enkratnih vzorcev v Todrašici, v 2015 so spet vključeni v program.

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.

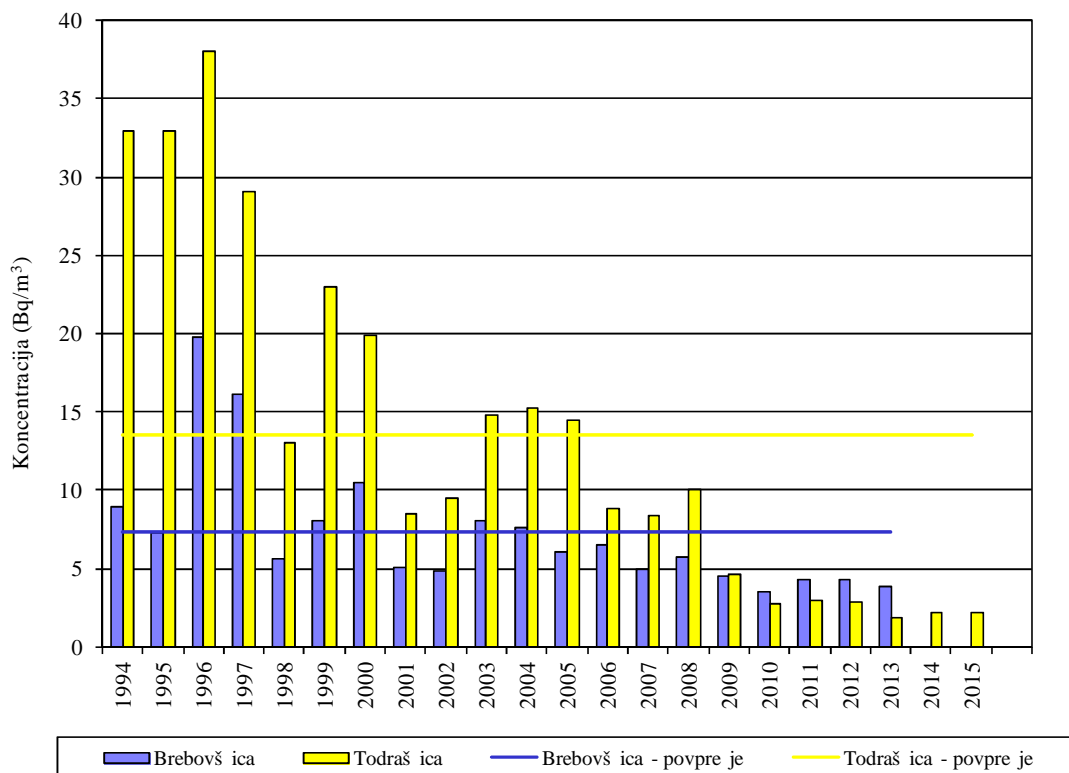
Povprečne koncentracije so določene kot aritmetično povprečje koncentracij izmerjenih po posameznih mesecih in ne kot uteženo povprečje z upoštevanjem pretokov. Izmerjene koncentracije med obratovanjem rudnika v obdobju 1985 - 1990 so zbrane v tabeli (Tabela III-4).

**Tabela III-4: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v Todraš ica in Brebovš ica med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990**

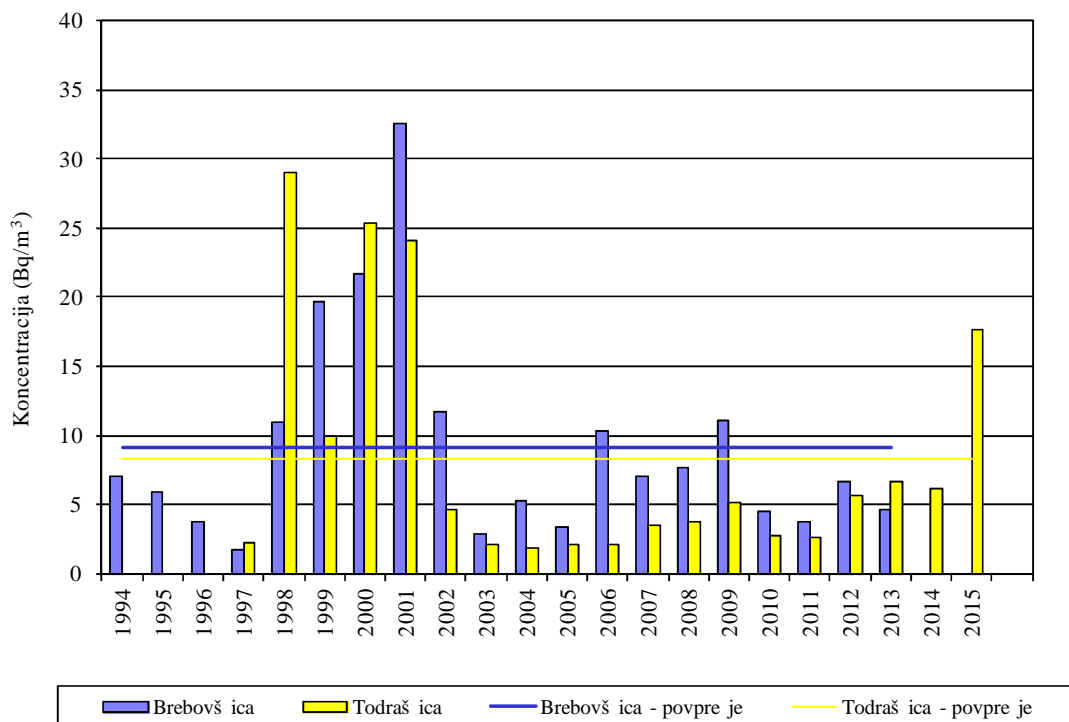
IV.	U-238 (Bq/m <sup>3</sup> )	Ra-226 (Bq/m <sup>3</sup> )	Pb-210 (Bq/m <sup>3</sup> )
Brebovš ica	200-330	20-30	5-10
Todraš ica	100	50-60	10



**Slika 7: Povpre ne letne koncentracije U-238 v Brebovš ica in Todraš ica**



**Slika 8: Povpre ne letne koncentracije Ra-226 v Brebovš ici in Todraš ici**



**Slika 9: Povpre ne letne koncentracije Pb-210 v Brebovš ici in Todraš ici**

---

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo nekaj odstotkov mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 (IK = 3000 Bq/m<sup>3</sup>), za Pb-210 (IK = 190 Bq/m<sup>3</sup>) in za Ra-226 (IK = 480 Bq/m<sup>3</sup>) [6]. Dodatno kontaminacijo reke Sore zaradi prispevkov RŽV lahko ocenimo iz razmerja pretokov Sore in Brebovš ica, ki je približno 9:1.

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

Koncentracija Ra-226 se v Todraš ici pove a po dotoku izcednih vod iz odlagališ a Boršt (zahodni Boršt potok). Kakšno je bilo pove anje v Brebovš ici po iz meritve v 2015 ne moremo oceniti, saj meritev na lokaciji Brebovš ica pred ni ve v programu od 2014 dalje.

Brebovš ica v reko Soro prinese U-238 in Ra-226. Pove anje v Sori po dotoku Brebovš ica, v primerjavi s koncentracijami nad dotokom Brebovš ica, je sorazmerno z velikostjo pretokov Brebovš ica in Sore. Meritve izvedene v 2015 so za uran potrdile, da je pove anje koncentracije v Sori približno v razmerju pretokov Sore in Brebovš ica. V letu 2015 so bile koncentracije U-238 v Brebovš ici PO ( $221 \pm 8$  Bq/m<sup>3</sup>) in v Sori PO pa ( $16,5 \pm 0,5$  Bq/m<sup>3</sup>).

V letu 2015 so bile izvedene tudi meritve Pb-210 na lokacijah Brebovš ica PO, Todraš ica PO in Sora PO, medtem ko so bile zadnje meritve Po-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih izvedene v 2010. Meritve Pb-210 v 2015 in meritve iz 2010, zaradi nizkih koncentracij radionuklidov, pove anja v Sori po dotoku Brebovš ica ne potrjujejo. Vrednosti se v okviru merilne negotovosti ne razlikujejo.

Iz pregledne tabele (Tabela III-5) sledi, da je glavni onesnaževalec z uranom jamska voda, sledijo izcedne vode odlagališ a Jazbec in nato Boršt. Teko inske emisije so mo no odvisne od koli ine padavin. V letih, ko je ve padavin, je ve izpiranja in posledí no ve emisij urana in radija. Od leta 2014 ni ve v programu nadzora kontinuiranih meritev teko inskih emisij iz jame in odlagališ a Jazbec. So pa v programu meritve enkratnih vzorcev vod, ki jih je RŽV odvzel 01.06.2015 (Tabela V.2.5.). Iz meritve enkratnih vzorcev ni mogo e oceniti celoletnih teko inskih emisij.

Teko inske emisije U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> iz odlagališ a Boršt so bile v 2008 in 2009 ve je kot je povpre je po letu 2000, po letu 2010 pa so nižje in na ravni 10 – 20 kg letno. Pove anje v 2008-2009 pripisujemo intenzivnim zapiralnim delom na odlagališ u (predvsem u inkom izvedbe dodatnih drenaž telesa odlagališ a), zmanjšanje po letu 2010 pa uspešnosti teh del.

**Tabela III-5: Letne teko inske emisije U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> in Ra-226 iz Jamskega obrata, odlagališ a Jazbec in odlagališ a Boršt. Vir: letna poro ila Službe za varstvo pred sevanji RŽV**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Letne teko inske emisije U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (kg)</b>									
Jamski obrat	100	156	173	184	147	134	158	Ni meritev	Ni meritev
Jazbec	65	44	32	38	21,8	30	39	Ni meritev	Ni meritev
Boršt	21	77	43	29	12	10	17	14	9,8
<b>SKUPAJ</b>	185	276	248	251	180,8	174	214	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti
<b>Letne teko inske emisije Ra-226 (MBq)</b>									
Jamski obrat	20	27	32	37,1	29	28	33,7	Ni meritev	Ni meritev
Jazbec	9,3	5	3	4,6	2,2	3,1	4,9	Ni meritev	Ni meritev
Boršt	11,9	35	13	12,5	3	3,4	5,8	5,0	2,9
<b>SKUPAJ</b>	41,2	67	48	54,3	34,2	34,5	44,4	Ni možno oceniti	Ni možno oceniti

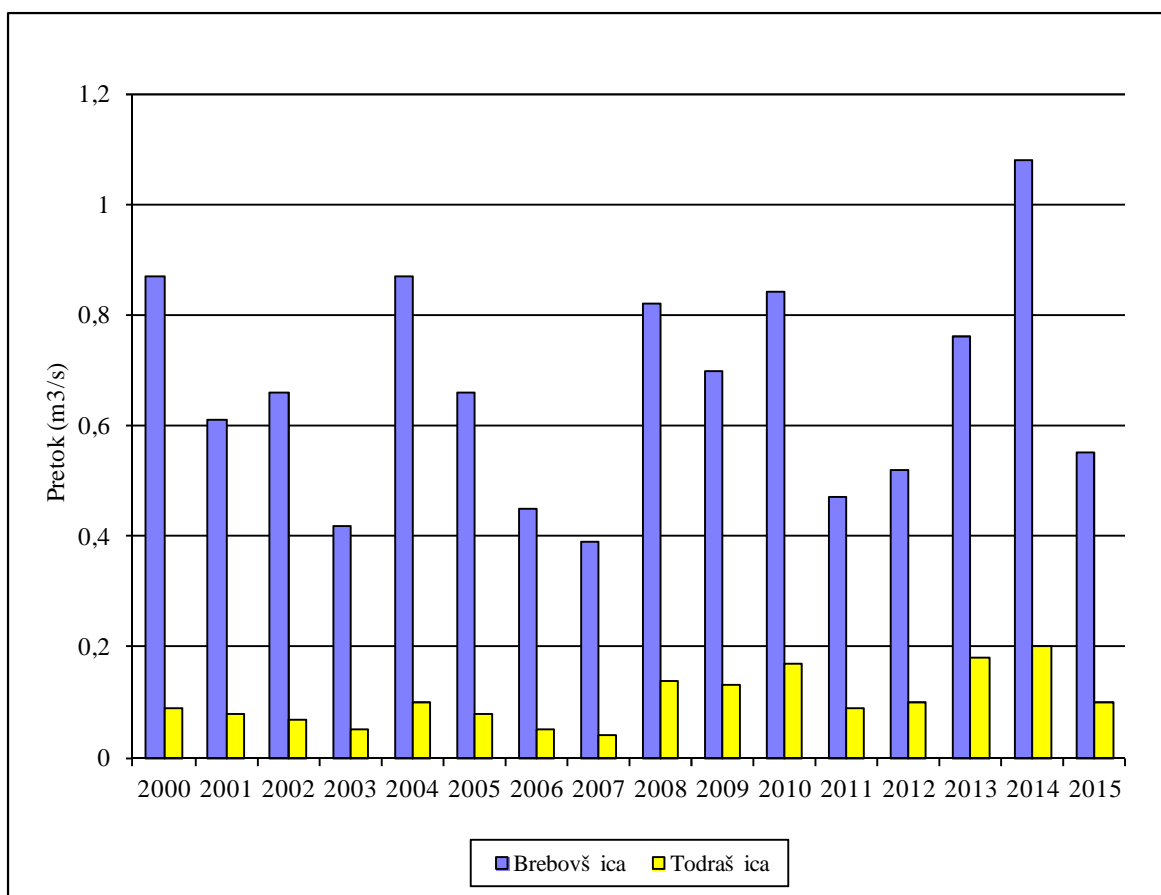
Koncentracije urana in radija v Brebovš ici in Todraš ici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno pove anje koncentracije U-238 v Todraš ici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališ u Boršt (Slika 7).

Na izmerjene koncentracije radionuklidov vplivajo tudi pretoki vodotokov (Slika 10). Majhna koli ina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, eprav so lahko emisije nespremenjene. Tako so bile npr. letne mase emisije U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> iz odlagališ a hidrometalurške jalovine Boršt v obdobju 2004 – 2007 približno enake, a so izmerjene koncentracije U-238 v sušnem letu 2006 in 2007 ve je kot leta 2005 in tudi ve je kot leta 2008, eprav so bile emisije leta 2008 ve je. V letu 2011 in 2012 so npr. emisije urana manjše kot v 2010, izmerjene vrednosti v Brebovš ici in Todraš ici pa višje, saj sta povpre na letna pretoka Brebovš ice in Todraš ice 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 povpre nih koncentracijah urana in radija v Todraš ici in Brebovš ici ni opaziti. V 2013 pa so emisije urana in radija višje kot v 2012 ali 2011 pa so povpre ne koncentracije obeh elementov v Brebovš ici in Todraš ici nižje kot v 2012 ali 2011. eprav je celotna masa izpranega urana in radija v letu 2013 višja kot v 2012 pa so koncentracije v Brebovš ici in Todraš ici, prav zaradi red enja z ve jimi koli inami vode, nižje. V letu 2014 je bila koli ina padavin in posledí no pretoki Brebovš ice in Todraš ice najvišji v zadnjih letih. Tudi zato so povpre ne 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 Todrašici.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovšici in Todrašici so se z leti zmanjšale in so po letu 2009 pod  $5 \text{ Bq/m}^3$ . 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 Todrašici PO so bile v 2015 nekajkrat višje od koncentracij v obdobju po letu 2001, ko so bile večinoma pod  $5 \text{ Bq/m}^3$  (Slika 9). Razlage za povečanje koncentracij Pb-210 v Todrašici nimamo.



Slika 10: Povprečni pretoki v Brebovšici in Todrašici

### III.2.2 Podtalnica

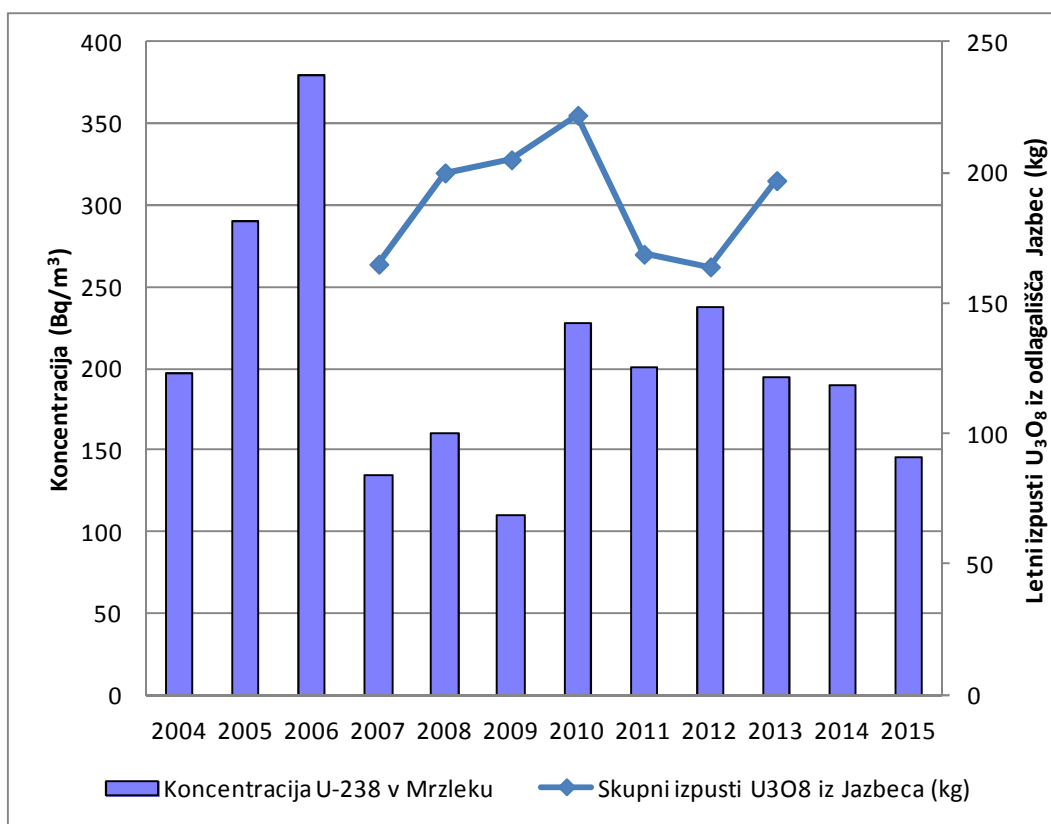
V programu nadzora so bile v letu 2015 tudi meritve radioaktivnosti enkratnega vzorca podtalnice v izviru Mrzlek v Dolenji Dobravi, za katerega je bila z raziskavami ugotovljena povezava z vodami iz odlagališča Jazbec, in na odlagališču Jazbec.

Ker je glavni vir imisij odlagališča Jazbec, smo v izcednih vodah iz odlagališča Jazbec (voda



iz propusta pod Jazbecom, pred to ko mešanja) merili koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210. Rezultati so podani v tabelah Tabela V.2.5 (vode iz Jazbeca) in Tabela V.2.6 (vode iz Mrzleka in vrtine BS-30). Pri akovano so bile koncentracije vseh radionuklidov najve je v izcednih vodah iz odlagališ a Jazbec in so približno za velikostni red višje kot v izviru Mrzlek.

Na sliki (Slika 10) so gibanje koncentracije U-238 v izviru Mrzlek in letni izpusti  $U_3O_8$  iz odlagališ a Jazbec. Neposredne korelacije med izpusti iz odlagališ a in koncentracijo v izviru Mrzlek ni. Se je pa koncentracija U-238 v izviru Mrzlek pove ala po kon anih ureditvenih delih na Jazbecu (pove anje od leta 2010) in je od tedaj naprej konstantna okoli  $200 \text{ Bq/m}^3$ .



Slika 11: Koncentracije U-238 v izviru Mrzlek ( $\text{Bq/m}^3$ ) in letni izpusti  $U_3O_8$  (kg) iz odlagališ a Jazbec

### III.3 SEDIMENTI

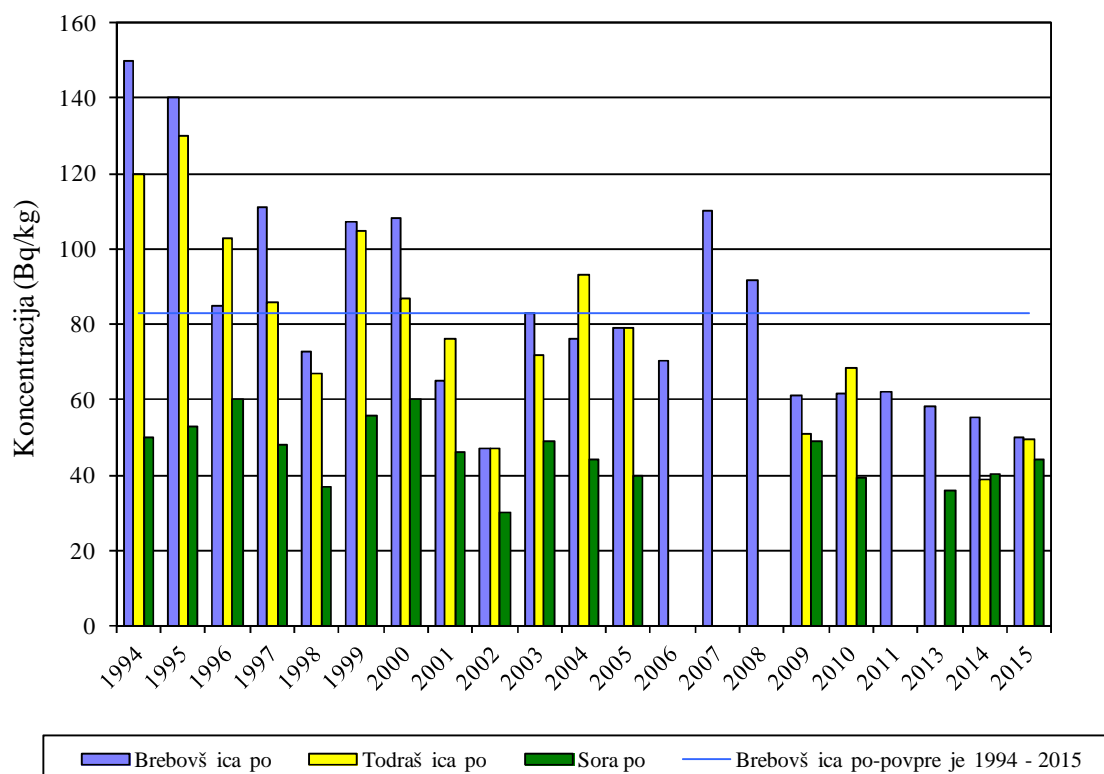
V tabeli (Tabela V.3.1 – V.3.4) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v vzorcih sedimentov v Brebovš ici PO (mesto vzor enja po vtoku Todraš ice v Brebovš ico, rudniške imisije), Todraš ici PO, Sori PO (mesto vzor enja po vtoku Brebovš ice v Soro) in v zahodnem Borš potoku. Po programu so predvidene meritve polletnih zbirnih vzorcev, vendar so v Brebovš ici PO in Sori PO izvedene le meritve letnih vzorcev, ki pa niso pokrile celotnega leta. 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 Brebovš ica in Todraš ica ni bilo v programu.

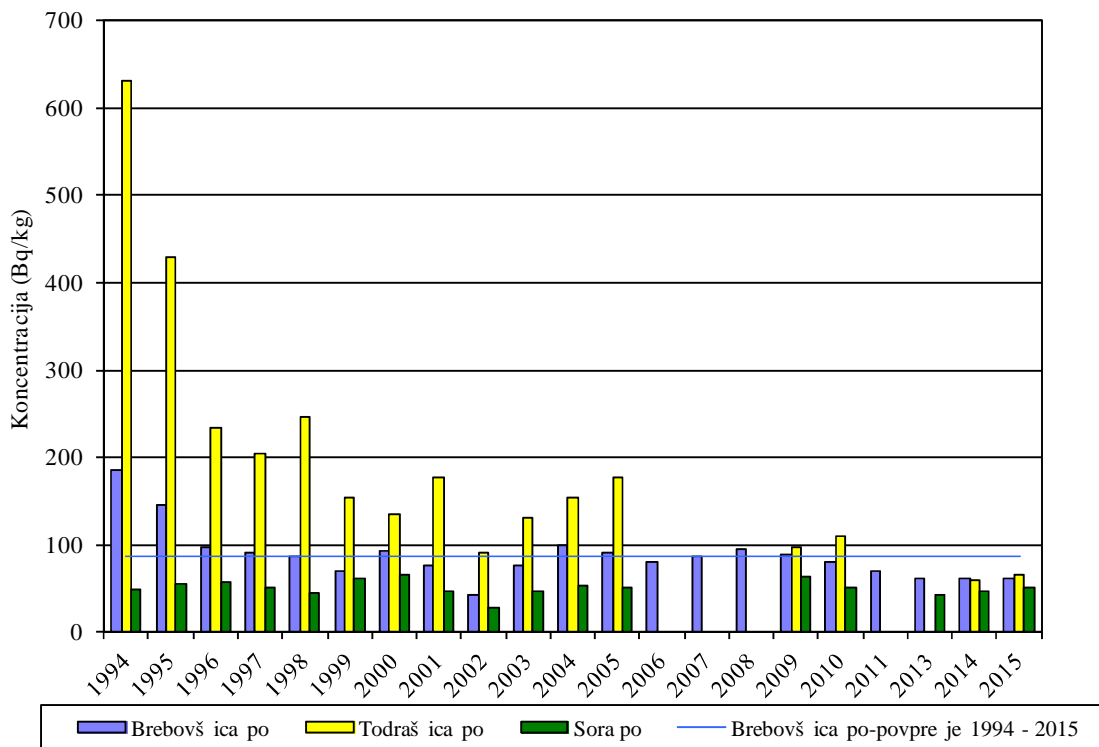
V tabeli (Tabela III-6) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 12, Slika 13 in Slika 14) so grafi ni prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

**Tabela III-6: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraš ica po, Brebovš ica po in Sora po med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990**

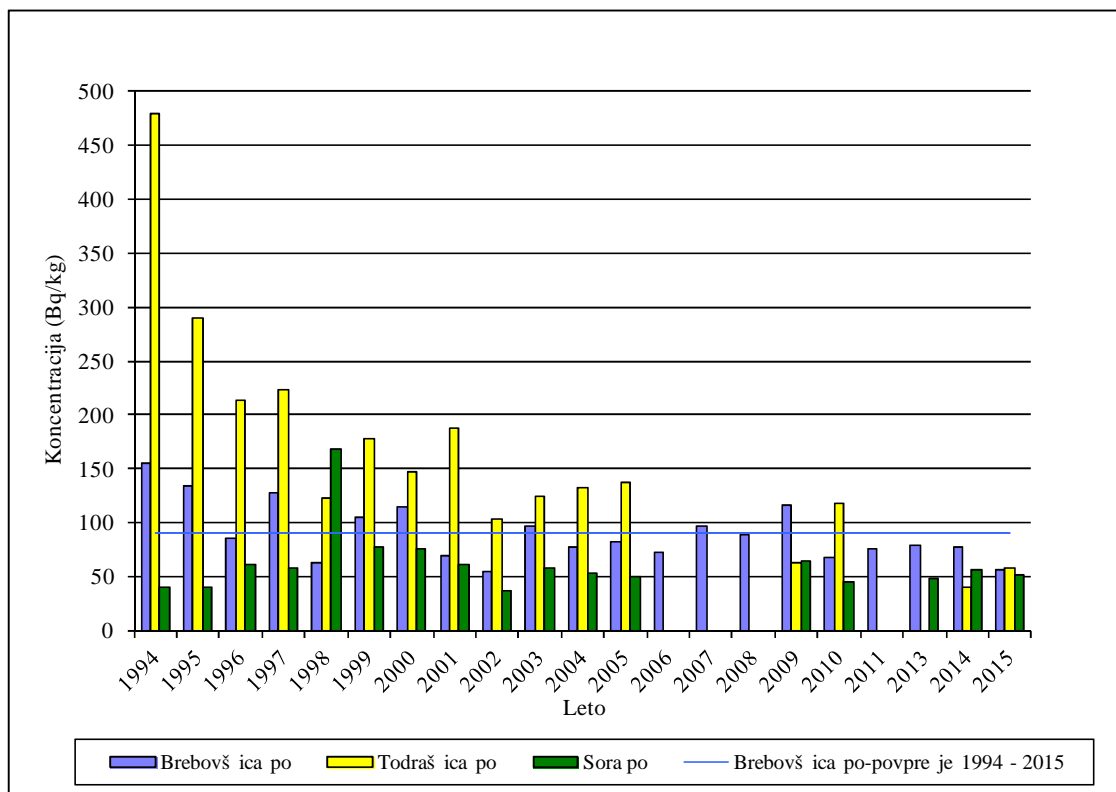
V.	U-238 (Bq/m <sup>3</sup> )	Ra-226 (Bq/m <sup>3</sup> )	Pb-210 (Bq/m <sup>3</sup> )
Brebovš ica po	200-250	250-300	200-300
Todraš ica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



**Slika 12: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV**



Slika 13: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 14: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV

---

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovš ica so po kon anih zapiralnih delih v 2008 in 2009 nižje od povpre ja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so bile v letih 2007 in 2008 višje kot v 2001 – 2005, kar povezuje z intenzivnimi deli na odlagališ ih. Meritve koncentracije Pb-210 so obremenjene s precejšno negotovostjo (negotovost meritve skoraj 30 % , faktor zaupanja  $k=1$ ), zato enkratne višje vrednosti v 2009 v Brebovš ici PO ali Todraš ici PO v 2010, ne moremo pripisati delom na odlagališ ih.

Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todraš ica v letu 2015 so na podobni ravni kot v 2014, eprav zaradi razli nega intervala vzor evanja primerjava ni povsem pravilna.

Zna ilen je trend upadanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovš ica in Todraš ica do leta 2009. Z zapiralnimi deli se je o itno uspešno prepre ilo izpiranje snovi iz odlagališ . Po letu 2009 so koncentracije vseh treh radionuklidov ustaljene. Program nadzora radioaktivnosti sicer ne omogo a rednega spremljanja, ampak le ob asna preverjanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih.

#### III.4 MLEKO

Meritve mleka v letu 2015 niso bile izvedene, eprav so bile v programu. Na lokaciji Potokar, ki je bila predvidena za vzor enje mleka, vzorca ni bilo mogo e dobiti – kmetija je opustila dejavnost.

Nadzor v preteklih letih [2] je pokazal, da so bile v vzorcih mleka iz okolice rudnika pove ane vrednosti naravnih radionuklidov. Najve ja razlika med referen no lokacijo in okolico RŽV je pri Pb-210. Koncentracija Pb-210 v mleku iz okolice Jazbeca je približno trikrat ve ja od koncentracije v mleku iz referen ne lokacije. Razlog je v tem, da je v okolici nekdanjega rudnika urna pove ana koncentracija Rn-222, ki razpada, med potomci pa je tudi Pb-210. Pb-210 se vseda na površine, tudi travo in druge rastline ter tako pride v prehrambeno verigo krav.

V letu 2015 so bile v programu tudi meritve vsebnosti U-238, Ra-226 in Pb-210 v lišajih in travi iz odlagališ a Boršt. Rezultati so v tabeli V.4.2. Izmerjene vrednosti v vzorcih trave iz odlagališ a Boršt so približno 10x višje od vrednosti iz republiškega programa [29]. Radionuklide iz krme pridejo v telo goveda in nato v mleko ali v meso. Prenosni faktorji iz trave v mleko ali meso goveda so opisani v razli nih literaturah [30], [31] in jih navajamo v tabeli (Tabela III-7). Prenosni faktorji nam povedo, kolikšen delež radionuklida se absorbira v mleku ali mesu goveda, ki dnevno zaužije dolo eno koli ino trave, ki vsebuje radioaktivne izotope.

**Tabela III-7: Prenosni faktorji za prenos radionuklidov iz krme v mleko in iz krme v meso**

Radionuklid	IAEA [30]		IAEA [31]	
	$F_m$ (d/L)	$F_f$ (d/kg)	$F_m$ (d/L)	$F_f$ (d/kg)
U-238	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$18 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
Ra-226	$13 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$
Pb-210		$4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$

$F_m$  – prenosni faktor iz krme v mleko v dnevnem vnos krme/liter mleka

$F_f$  – prenosni faktor iz krme v meso v dnevnem vnosu krme/kg mesa

e iz izmerjenih koncentracij radionuklidov v travi iz odlagališ a in prenosnih faktorjev ocenimo koncentracije radionuklidov v mleku ali mesu govedu, ki bi celo leto jedlo le travo iz odlagališ a, pridemo do koncentracij radionuklidov v mleku tega goveda za U-238 in Pb-210 nekaj desetink Bq/l in za Ra-226 nekaj stotink Bq/l. To so visoke vrednosti in nerealne, saj ni mogo e pri akovati, da bi se govedo celo leto krmilo le s to krmo.

### III.5 RIBE

V letu 2015 ni bilo v programu meritev rib v Brebovš ici, 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]. Meritve so bile izvedene v 2014, ker so v letu 2013 v spodnji del Brebovš ice, torej tudi na podro je Dolenje Dobrave, vložili ribe iz zgornjega dela Brebovš ice, medtem ko so v zgornji del Brebovš ice vložili ribe iz ribogojnice.

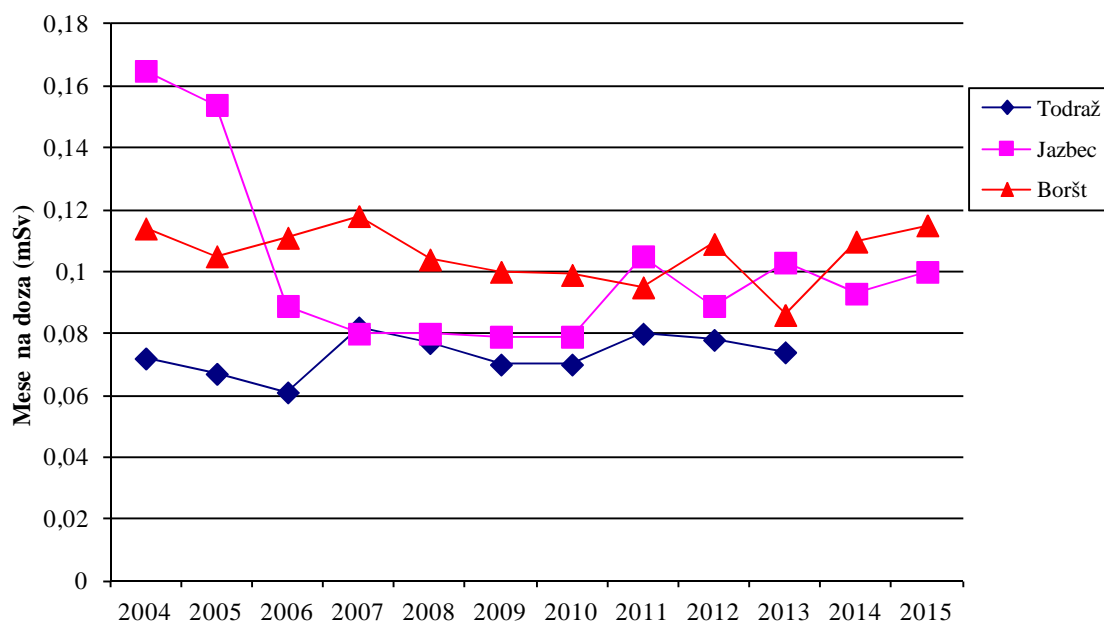
Rezultati meritev iz 2014 so v tabeli V.4.1. Vrednosti Ra-226 v ribah iz okolice RŽV so pove ane glede na referen no lokacijo, medtem ko pri Pb-210 lahko ugotovimo, da s samo metodo gama spektrometrije ni možno zaznati pove anja v ribah iz okolice RŽV glede na ribe iz referen ne lokacije.

### III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

V programu monitoringa za 2015 so bile meritve zunanlega sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališ ih Jazbec in Boršt. Absorbirano dozo v zraku smo merili s termoluminiscentnimi dozimetri na treh lokacijah: na odlagališ ih Jazbec in Boršt na lokaciji merilnega mesta ter na odlagališ u Boršt na lokaciji »Boršt v ograji« (merilno mesto na vrhu odlagališ a Boršt). Rezultati so predstavljeni v tabeli (Tabela V.5.1).

Do leta 2005 se je meritve mese no izvajalo na 9 lokacijah v okolici RŽV. Po letu 2005 so meritve kvartalne na treh lokacijah. Pregled povpre nih mese nih doz izmerjenih s TL dozimetri je na sliki (Slika 15). Mese ne doze smo v letih, ko so meritve kvartalne, dobili tako, da smo jih izra unali iz rezultatov kvartalnih meritev (rezultat meritve delimo s faktorjem 3). Obsežna zapiralna dela, predvsem nanašanje prekrivke, so vplivala na zmanjšanje doze na

odlagališ u Jazbec.



Slika 15: Povpre ne mese ne 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, kozmi no sevanje in ernobilsko kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred ernobilsko 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 ernobilsko kontaminacija višja v zgornjih plasteh.

V letu 2015 so bile skladno s programom radiološkega monitoringa [4] izvedene meritve hitrosti doze z merilnimi inštrumenti na odlagališ u Boršt na površini odlagališ a in na zunanjem robu odlagališ a, kar je bilo nazadnje izvedeno v letu 2011. Rezultati so v tabeli V.5.2. Sicer so izmerjene hitrosti na površini odlagališ a Boršt v okviru pri akovanih vrednosti. Nadzor v preteklosti je pokazal, da odlagališ i Jazbec in Boršt ne prispevata ve povišane doze gama sevanja v okolici.

Meritve absorbirane doze na odlagališ u Jazbec so bile nazadnje izvedene 2014.

---

## VI. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA

Izra un 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 izra unu 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 ionizirajo imi sevanji* [7]. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996, [18]), ki smo jih uporabljali v izra unih 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 ionizirajo imi sevanji* [7]. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajo imi sevanji* [7] ima osnovo v ICRP 65 [17].

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

Prebivalci v okolici RŽV so izpostavljeni sevanju naravnega ozadja in sevanju zaradi prispevka rudnika. Pri izra unu smo prispevek naravnega sevanja odšteli in s tem dolo ili le dozo zaradi vpliva rudnika. Naravno ozadje smo dolo ili z meritvami izven vplivnega obmo ja rudnika.

Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, za katere se meritve v letu 2015 niso izvajale, ocene doz nismo ocenili. Izjema je doza zaradi zaužitega mleka, kjer smo pri izra unu upoštevali podatke meritev iz leta 2013.

### IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRA NI POTI

#### IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku

Po kon anih zapiralnih delih na odlagališ ih Jazbec in Boršt ni ve aktivnosti, ki bi povzro ale 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 povzro ale 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. Izraun doze in konverzijski faktor smo privzeli po ICRP 65 [17]. Pri zadrževanju v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [19]. Kot osnovni merski podatek za izraun smo upoštevali povprečno vrednost dodatne koncentracije Rn-222 zaradi RŽV.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222 v letu 2015 je:

$$\begin{aligned} E &= 1,4 \pm 0,5 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &= 0,9 \pm 0,4 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &= 0,4 \pm 0,1 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto} \end{aligned}$$

in je podobna dozi v preteklih letih.

## IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija

Pri izraunu 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 lovek 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 izraunov z upoštevanjem dnevnega spreminjanja koncentracij ali izraunov 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 Brebovšice, v skladu s priporo ili 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  $7 \text{ Bq/m}^3$  (Slika 5). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med  $6,2\text{-}9,3 \text{ Bq/m}^3$ .



---

V letu 2015 je koncentracija radona povečana za  $2,6 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3$ . Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2015:

**$E = 55 \pm 17 \text{ } \mu\text{Sv}$  za odraslega prebivalca,**

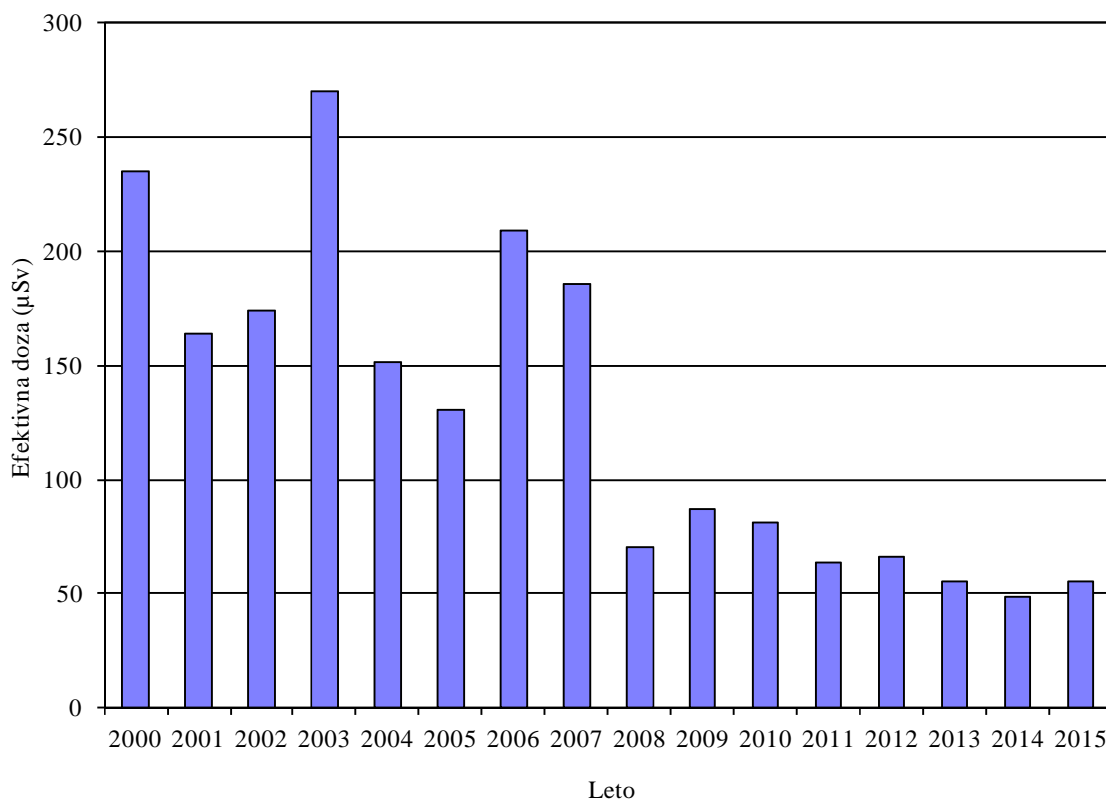
**$E = 52 \pm 16 \text{ } \mu\text{Sv}$  za otroka starega 10 let,**

**$E = 60 \pm 18 \text{ } \mu\text{Sv}$  za otroka starega 1 leto.**

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2015 prejeli dozo  $64 \pm 20 \text{ } \mu\text{Sv}$ . Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje, so manj obremenjeni in so prejeli dozo  $46 \pm 14 \text{ } \mu\text{Sv}$ . Negotovosti ocene doz so podane s faktorjem pokritja  $k=2$ .

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za obdobje 2008-2015 so si podobne in so bistveno nižje kot pred izvedenimi zapiralnimi deli. To 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 efektivna doza od prenehanja proizvodnje se je do leta 2008 gibala med 0,15 mSv in 0,3 mSv (Slika 16), po letu 2008 pa je prispevek k dozi, nekajkrat manjši in znaša med 0,05 mSv in 0,08 mSv. 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 tretina, 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 obutljivost merilnih metod ni več omogočala določanja prispevka iz rezultatov meritev. Ocenjeni prispevek rudniškega radona ni več tretina, pa tudi le še okoli 5 %.



Slika 16: 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 programu nadzora radioaktivnosti v okolici Rudnika Žirovski vrh so bili vzorci hrane nazadnje v letu 2005. Zaradi omejitev glede merilnih metod, s katerimi se je izvajal nadzor, prispevka k dozi po tej prenosni poti nikoli nismo mogli zanesljivo in natančno ovrednotiti. Ocene doz so se gibale okoli 50  $\mu\text{Sv}$  na leto za odraslega prebivalca. Ker je bilo že v času intenzivnih zapiralnih del težko ovrednotiti prispevek, sedaj, ko aktivnosti RŽV skoraj ni več in prav tako ne meritev, je ocenjevanje doz po prehrambeni poti zelo težko oziroma ocenjevanje doz na osnovi podatkov iz leta 2005 nima prave vrednosti. Zato prispevek RŽV k dozi zaradi uživanja pridelkov iz okolice RŽV ocenjujemo le za zauživanje mleka. Meritve vzorcev mleka so sicer bile v programu za leto 2015, a vzorca iz predvidene lokacije ni bilo mogoče zagotoviti. Zato smo za oceno doze uporabili podatke meritev iz okolice RŽV za leto 2013 in podatke meritev iz leta 2011 za referenčno lokacijo.

Za mleko je RŽV v letu 2013 izvedel analizo ve vzorcev iz obmo ja RŽV, ne pa iz referen ne lokacije, kjer so bile meritve nazadnje izvedene v 2011. Analize je izvedel Institut Jožef Stefan z radiokemi no separacijo in meritvijo na spektrometru alfa (Ra-226 in Po-210) ali proporcionalnem števcu (Pb-210). U-238 je bil dolo en z uporabo nevtronske aktivacijske analize. V tabeli (Tabela VI-1) podajamo vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka, ki so jih izmerili na IJS v letu 2013.

**Tabela VI-1: Povpre ne vsebnosti U-238, Ra-226 in Pb-210 v mleku iz obmo ja RŽV in referen ne lokacije. Meritve so bile izvedene v letu 2013 na obmo je RŽV in 2011 na referen ni lokaciji.**

	<b>U-238 (Bq/kg)</b>	<b>Ra-226 (Bq/kg)</b>	<b>Pb-210 (Bq/kg)</b>	<b>Po-210 (Bq/kg)</b>
Obmo je RŽV	0,00030 ± 0,00004	0,009 ± 0,002	0,105 ± 0,040	0,095 ± 0,008
Referen na lokacija (podatki za leto 2011)	0,0024 ± 0,0003	0,0074 ± 0,0008	0,028 ± 0,014	Ni podatka

Pri koli ini zaužite hrane smo upoštevali študijo J. Rojca [23], M. Križmana [21] in ICRP 101 [24]. Letna koli ina zaužitega mleka za odraslega prebivalca je 122 l, za otroka starega 10 let 183 l in za otroka starega 1 leto 273 l.

Efektivne doze (E) smo izra unali z uporabo konverzijskih faktorjev iz *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [6]. Pri oceni smo upoštevali vsebnosti Ra-226 in Pb-210 v nekaterih tipi nih živilih, ki jih pridelujejo ljudje na obmo ju vpliva rudnika.

Ocenjena efektivna doza je zaradi omejitve merilne metode opremljena z veliko negotovostjo. Ocenjene letne efektivne doze zaradi zauživanja mleka za leto 2015 so:

$$\begin{aligned} E_{(\text{ingestija mleko})} &= \mathbf{6,5 \pm 4,4 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}} \\ E_{(\text{ingestija mleko})} &= \mathbf{27 \pm 18 \text{ za otroka starega 10 let,}} \\ E_{(\text{ingestija mleko})} &= \mathbf{76 \pm 33 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.}} \end{aligned}$$

Pri otroku starem 1 leto smo privzeli, da uživa le mleko. Prav tako smo privzeli, da je vse mleko iz vplivnega podro ja RŽV, kar verjetno ni povsem realno.

Ocenjeni prispevek k dozi zaradi kontaminacije mleka v letu 2015 znaša 0,006 mSv za odraslega prebivalca.

Ocenjena doza zaradi zauživanja hrane je obremenjena z veliko negotovostjo zaradi zelo nizkih vrednosti naravnih radionuklidov v hrani, ki so na meji detekcije. Zato so ocenjene doze po letih lahko zelo razli ne, vrednosti pa moramo jemati z veliko mero previdnosti.

Ribe iz Brebovšice in Sore predstavljajo le manjši delež v prehrani ljudi. V letu 2015 RŽV meritev vzorcev rib ni izvedel, čeprav so bile v programu nadzora radioaktivnosti predvidene. Zato smo uporabili oceno doze iz leta 2014, ko so bile meritve radioaktivnosti v vzorcih rib izvedene (čeprav niso bile v programu). V letu 2014 je RŽV naročil meritve Ra-226 in Pb-210 v vzorcih rib v Brebovšici in Poljanski Sori. Z mersko metodo povečanja Pb-210 ni mogoče ugotoviti, razlike so vidne le pri Ra-226 med vzorci iz okolice RŽV in vzorci iz referenčne lokacije v Selški Sori. Zato ocenjujemo pri dozi le prispevek zaradi Ra-226. Po ocenah iz prejšnjih poročil povzemamo, da naj bi bil povprečni ulov na prebivalca 5 kg rib na leto. Tudi če upoštevamo, da vsak posameznik zaužije vseh 5 kg, je ocenjena efektivna doza zaradi zauživanja rib:

$$E_{(\text{ingestija ribe})} = 1,8 \mu\text{Sv}.$$

## IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda

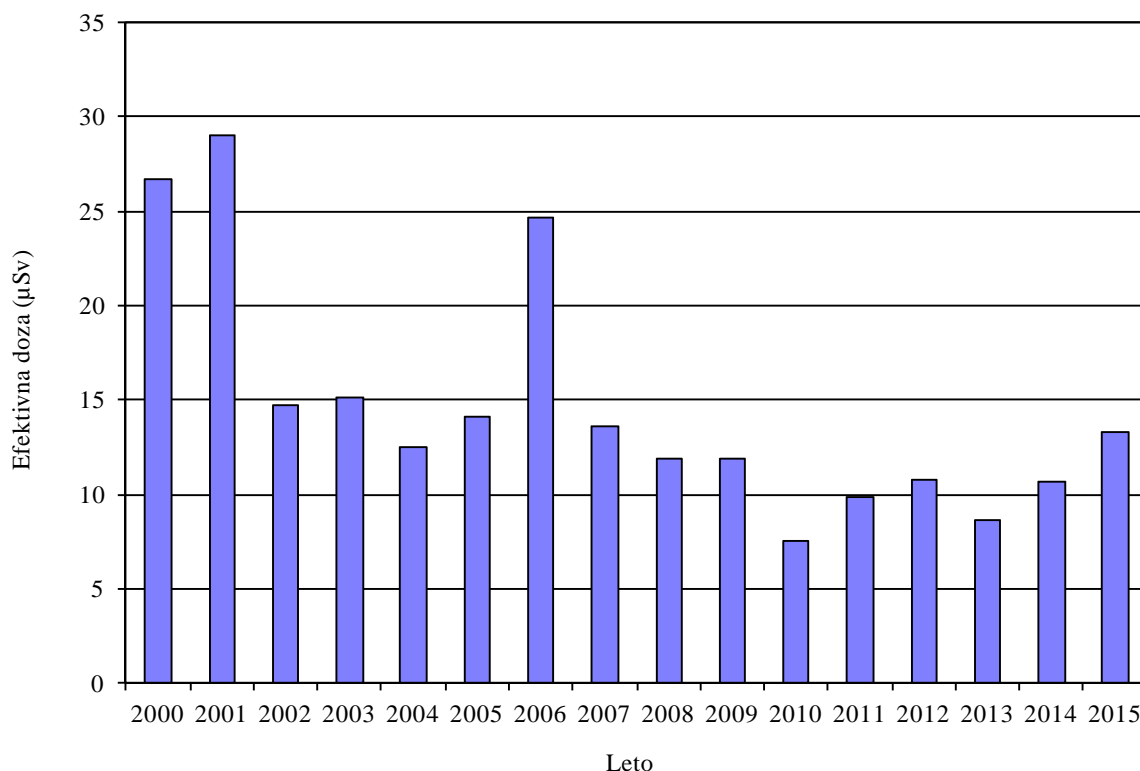
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovšice (merski rezultati za enkratne vzorce) in znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 13,3 \pm 6,6 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 16,6 \pm 8,3 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 14,8 \pm 7,4 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

Izračunana letna efektivna doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 17). Za količine zaužite vode smo upoštevali [25].



Slika 17: Letne efektivne doze zaradi pitja vode (Brebovš ica) 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 ni .

#### IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci

Pri izra unu smo uporabili pretvorbene faktorje za zra no 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, as 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 izra unu doz.

### **IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališ**

V letu 2015 smo izvajali meritve zunanjega gama sevanja v okolici odlagališ a Boršt. Povišanih hitrosti doze nismo izmerili. Nadzor v preteklih letih [2] je pokazal, da odlagališ a ne prispevajo k pove ani dozi zunanjega sevanja. Že na samih odlagališ ih so hitrosti doze na nivoju ozadja. Izven odlagališ posamezna pove anja pripisujemo geološkim posebnostim in ne vplivu odlagališ a.

Za bližino odlagališ 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 izra unu smo upoštevali najbolj realne možnosti in kon na doza je realna doza, ki bi jo lahko dobil posameznik zaradi RŽV. Ocena je narejena za povpre nega odraslega posameznika, za otroka starega 10 let in za otroka starega 1 leto iz referen ne skupine ljudi v dolini Brebovš ice. Posamezni prispevki k dozi po razli nih prenosnih poteh so podani v tabeli (Tabela VI-2). Za prispevke prenosnih poti smo uporabili podatke meritev iz leta 2015 razen za mleko, kjer smo v izra unu uporabili podatke iz leta 2013 (okolica RŽV) in 2011 (referen na lokacija).

**Tabela VI-2: Letna efektivna doza zaradi rudnika urana za prebivalce v okolici RŽV**

VII. VIII.	Prenos na pot	Pomembnejši radionuklidi	Letna efektivna doza ODRASLI ( $\mu$ Sv)	Letna efektivna doza OTROCI 10 let ( $\mu$ Sv)	Letna efektivna doza OTROCI 1 leto ( $\mu$ Sv)
Inhalacija		- aerosoli z dolgoživimi radionuklidi - samo Rn-222 - Rn, kratkoživi potomci	0,0 1,4 55	0,0 0,9 52	0,0 0,4 60
Ingestija		- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi - ribe (Ra-226, Pb-210) - kmetijski pridelki – mleko (Ra-226, Pb-210)	(13,3) 1,8 6,5	(16,6) 1,8 27	(14,8) - 76
Zunanje sevanje		- sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija) - sevanje dolgoživih radionuklidov - sevanje v okolici odlagališ	0,9 - -	0,9 - -	0,9

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2015 je:

**66  $\mu$ Sv (0,066 mSv)** za odraslega prebivalca

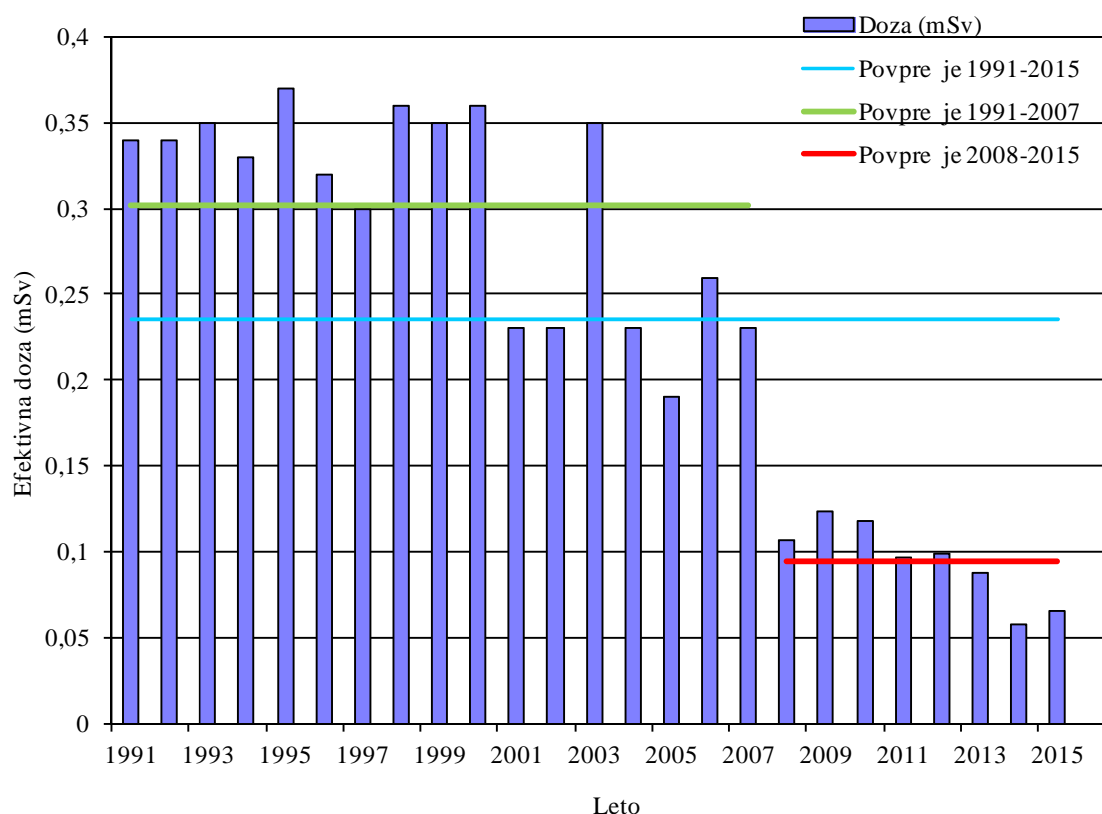
**83  $\mu$ Sv (0,083 mSv)** za otroka starega 10 let

**137  $\mu$ Sv (0,137 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 kriti ne skupine prebivalstva v vplivnem obmo ju RŽV je 0,3 mSv[8]. Izra unani 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 18). 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 izračunu dozne obremenjenosti uporabljali hitrosti dihanja za težko delo preko vsega dneva, kar je preveč konzervativna predpostavka. V primeru, da bi računali po enaki metodologiji kot pred letom 2007, so ocenjene letne efektivne doze okoli 10 % višje. V letu 2009 smo spremenili metodologijo ocene prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona, saj z merskimi metodami po izvedenih zapiralnih delih, prispevka ni bilo več mogoče oceniti. Od leta 2014 dalje je v prispevku k oceni doze zaradi uživanja hrane upoštevano le mleko, niso pa upoštevana ostala živila, za katera ni rezultatov meritev po letu 2005. 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 loveka znašal v letu 2005, ko se je nazadnje celovito vzorilo hrano, manj kot 40  $\mu$ Sv. Prispevek k dozi zaradi inhalacije dolgoživih radionuklidov iz okolice RŽV je za odraslega loveka znašal v letu 2010, ko se je nazadnje celovito vzorilo aerosole, 3  $\mu$ Sv.



**Slika 18: 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 2015 je 0,066 mSv, tako da je celotna letna doza za prebivalca v okolici RŽV 5,6 mSv, pri čemer nista upoštevana prispevek ernobilske kontaminacije in medicinskega obsevanja. V celotnem prispevku naravnega sevanja (brez medicinskega obsevanja in ernobilske kontaminacije) znaša prispevek rudnika okoli 1 %.

---

## IX. ZAKLJU KI 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 kon ne ureditve nekdanjih rudniških objektov ter po kon ani 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 ve je dozne obremenitve. Ocenjujemo, da v letu 2014 tega prispevka ni ve , saj RŽV ni izvajal aktivnosti, ki bi povzro ala prašenje. Od leta 2012 teh meritev tudi ni ve v programu.

V fazi zapiranja rudnika se je doza zaradi inhalacije radioaktivnih aerosolov še bistveno zmanjšala v primerjavi z obratovalnim obdobjem. V asu obratovanja (1985-1990) je bila koncentracija urana ali Ra-226 0,05-0,10 mBq/m<sup>3</sup>. Po ustavitvi drobljenja in predelave rude se je koncentracija zmanjšala na 0,01-0,02 mBq/m<sup>3</sup>. Koncentracija Pb-210 se ni bistveno spremenila, ker je odvisna predvsem od koli ine radona v ozra ju.

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 odlagališ e hidrometalurške jalovine Boršt in odlagališ e rudarske jalovine Jazbec. Na odlagališ u Jazbec so v obdobju 2006-2008, na odlagališ u Boršt pa v obdobju 2007-2010 potekale aktivnosti kon ne ureditve odlagališ a (preurejanje površine, vgradnja kon ne prekrivke, drenaže). Odlagališ e Jazbec so v letu 2008 v celoti prekrili s kon no prekrivko, v letu 2009 pa še odlagališ e Boršt. Posledica prekrivanja so zmanjšane ekshalacije radona in nizke izmerjene koncentracije radona na obeh odlagališ ih.

Od leta 2014 potekajo meritve koncentracije radona na 5 lokacijah v dolini Brebovš ice, pred tem na 9 lokacijah. K pove anju koncentracije radona v dolini Brebovš ice prispeva radon iz odlagališ Jazbec in Boršt. Ocenjujemo, da oba objekta k pove anju 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.

Povpre ne letne vrednosti koncentracij Rn-222 se v dolinah Brebovš ice in Todraš ice gibljejo med 25-30 Bq/m<sup>3</sup>, v dolini reke Sore pa okoli 20 Bq/m<sup>3</sup>. Koncentracije radona so povišane zlasti v dolinah Brebovš ice in Todraš ice. 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 pobo ja 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. Teko in izpusti iz rudnika in odlagališča na Jazbecu in Borštu zvišujejo vsebnost radioaktivnih snovi v površinskih vodah okoli rudnika, to je v Todrašici in Brebovšici. Glavni vir onesnaževanja z uranom je jamska voda, izcedne vode odlagališča a Boršt in odlagališča a 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 Todrašici, vendar je pretok Todrašice 5-6 x manjši kot pretok Brebovšice. Skupna aktivnost je tako večja v Brebovšici. Po letu 2009 so v Todrašici koncentracije Ra-226 nižje kot v Brebovšici, kar potrjuje tezo, da je glavni onesnaževalec, po izvedenih zapiralnih delih na Borštu, z Ra-226 jamska voda.

V Todrašici in Brebovšici 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 Brebovšici in Todrašici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todrašici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču a Boršt, predvsem izvedba dodatnih drenažnih sistemov v odlagališču.

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

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

Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todrašice v letu 2015 so na

---

podobni ravni kot v 2014, eprav zaradi razli nega intervala vzor evanja primerjava ni povsem pravilna.

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

5. Vsebnost Ra-226 in Pb-210 v ribah iz vodotokov, kamor se stekajo teko i izpusti iz rudnika in odlagališ je nizka, obi ajno istega velikostnega reda kot v ribah izven širšega vpliva rudnika. Ker same ribe predstavljajo le majhen delež v prehrani prebivalcev, je tudi prispevek k dozi majhen (1,5 %).
6. Pri kmetijskih pridelkih je morebitne vplive rudnika težje dolo iti. Nalogo še oteži uporaba mineralnih gnojil z ve jo vsebnostjo dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste. Do kontaminacije kmetijskih pridelkov pride predvsem po zra ni prenosni poti. Radioaktivni delci se usedajo na zunanje dele rastlin ali na zemljo, od koder pridejo v globino in preko korenin v rastlino. S prenehanjem delovanja rudnika se je koncentracija radionuklidov v trdnih delcih ob utno zmanjšala, kar ima za posledico manjšo površinsko kontaminacijo. Prispevek k dozi zaradi zauživanja hrane v 2015 smo ocenili le za zauživanje mleka. Ker ni bilo na voljo merskih podatkov, smo uporabili podatke iz leta 2014. Za ostale kmetijske pridelke ni na voljo merskih podatkov že od leta 2005. Tudi v letu 2005, ko se je nazadnje celovito vzor ilo in ocenilo doze zaradi zauživanja hrane iz okolice RŽV, je bila ocena obremenjena z veliko negotovostjo zaradi omejitev merilne metode.
7. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v asu 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 odlagališ ter zaprtjem jame je ostala kot vir radioaktivnih prašnih delcev samo resuspenzija.

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

Imerzijski prispevek kratkoživih radonovih potomcev v zraku je zelo majhen in znaša 0,9  $\mu$ Sv.

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

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referen ne skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2015 ocenili na 0,066 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za

---

otroke stare 10 let je 0,083 mSv in za otroke stare 1 leto 0,137 mSv. Značilen je padec doz po letu 2000 in nato ponovno po 2007. V letu 2007 smo pri oceni doze za otroke uporabljali 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 zraku in prenosni poti zaradi radona in potomcev za otroke uporabljali modelski pristop.

Izraunani 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 (0,066 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 črnobernska kontaminacija in medicinska uporaba sevanja. Ocenjena vrednost je znatno višja od svetovnega povprečja (2,4 mSv), kar uvršča to področje med kritičnejša v Sloveniji.

## X. PREDLOGI

Zaradi lažjega spremljanja radioaktivnosti v okolici RŽV, sprememb zaradi izvedenih zapiralnih del, nejasnosti glede programa monitoringa radioaktivnosti (prekrivanje obdobja po zapiranju odlagališ a Jazbec in odlagališ a Boršt), neizvedenih meritev, ki so bile v programu monitoringa v posameznih letih in nekaterih nezanesljivih meritev v obdobju 2011-2014 predlagamo naslednje:

- *Programa nadzora radioaktivnosti v okolici RŽV je zelo skr en 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 ve let). Ocene doz ob redkih meritvah niso ve smiselne.*
- *V nadaljevanju navajamo nekaj predlogov glede meritev v programu monitoringa (ki se sicer ponavljajo iz prejšnjih poro il, saj nikoli niso bile upoštevane ali strokovno zavrnjene):*
  - ✓ *RADON – meritve z detektorji sledi:*

*Menimo, da je smiselno, da se ohrani kvaratalne meritve z detektorji sledi za emisijski nadzor izpustov radona. Zato predlagamo, da se v program monitoringa ponovno vklju i kvartalne meritve, polletni interval pa se ne uporablja. Takšne meritve lahko služijo le za primerjavo koncentracije radona s preteklimi leti, težje se tudi spremlja kakšne so sezonske variacije in vplivi vremenskih razmer na koncentracijo radona.*
  - ✓ *Predlagamo da se redno spremlja ekshalacijo radona iz odlagališ in potrjuje majhen vpliv na koncentracije radona v dolini Brebovš ice in Todraš ice. V 2012-2015 je meritve izvajal RŽV. Merski rezultati ne podajajo merilne negotovosti, meritve niso izvedene v letnem in zimskem asu,. Obenem ni prav, da »onesnaževalec« z meritvami nadzira samega sebe. Eden od možnih na inov potrditve meritev, ki jih izvaja RŽV, d.o.o. sam je, da se meritve izvede podvojeno s pooblaš enim izvajalcem meritev. Predlog podajamo že tretje leto zapored.*
  - ✓ *e želimo spremljati razširjanje radionuklidov po vodni poti od virov, to je iz obeh odlagališ in jame, v okolje, je potrebno jemati enkratne vzorce vode na vseh lokacijah, ki omogo ajo oceno vpliva, to je na lokacijah: Brebovš ica PRED, Brebovš ica PO, Todraš ica PRED, Todraš ica 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 tekoinske izpuste  $U_3O_8$  in Ra-226. V letu 2014 in 2015 ni bilo izvedenih meritev, ki bi omogoile letno oceno tekoinskih izpustov  $U_3O_8$  iz Jazbeca in jame. Ob zelo zmanjšanem imisijskem monitoringu samo reden emisijski monitoring omogoaspremljanje izpustov v okolje in preko modelov oceno vplivov na okolje.*
  - ✓ *V programu monitoringa ni ve 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 prehrabeno verigo. Nadzor bi moral biti letni. Ob asno pa bi bil potreben tudi monitoring mleka, predlagamo triletno periodo, e se trava uporablja za krmljenje krav. Ob tem je potrebno izvesti vedno tudi meritve mleka iz referen ne lokacije.*
  - ✓ *Meritve sedimentov naj se izvajajo v istih asovnih obdobjih na vseh lokacijah. Izvajanje meritev samo v dolo enih in razli nih obdobjih ne omogo ajo ocene sproš anja snovi iz odlagališč in jame v okolje oziroma letnih ocen.*

---

## **XI. REZULTATI MERITEV**



## V.1. ZRAK

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

Tabela V.1.3. Povprejna koncentracija Rn-222, merjena z detektorji sledi

Merilno mesto	Koncentracija zimsko obdobje		Koncentracija poletno obdobje		Koncentracija letno povprečje
	1.10.2014 - 1.4.2015		1.4.2015-1.10.2015		
	Bq/m <sup>3</sup>		Bq/m <sup>3</sup>		Bq/m <sup>3</sup>
DOLINA BREBOVŠICE					
Pod transportnim trakom	27 ± 4		39 ± 4		33 ± 4
Todraž	23 ± 4		24 ± 2		24 ± 3
Gorenja Dobrava	15 ± 4		25 ± 2		20 ± 3
Gorenja Dobrava	107 ± 14		22 ± 2		
Gorenja Dobrava povprečje	61 ± 11		24 ± 2		42 ± 8
Gorenja vas (MP, Brencce)	16 ± 3		17 ± 2		
Gorenja vas (MP, Brencce)	14 ± 3		20 ± 2		
Gorenja vas (MP, Brencce) povprečje	15 ± 3		19 ± 2		17 ± 3
	5.1.-1.4.15	1.4.-1.7.15	1.7.-1.10.15	1.10.15-4.1.16	
ZVD- Ljubljana*	9 ± 4	15 ± 4	30 ± 4	28 ± 6	20 ± 5

\* primerjalna lokacija

Merilno mesto v Gorenji Dobravi je bilo v času poplav 21.-22.10.2014 poškodovano. Detektor je padel na tla. Podajmo izmerjeno vrednost, a je ne upoštevamo v izračunu doze

DOLINA TODRAŠICE

Merilno mesto	Koncentracija 1. etrtletje	Koncentracija 2. etrtletje	Koncentracija 3. etrtletje	Koncentracija 4. etrtletje	Koncentracija letno povprečje
	5.1.-1.4.15	1.4.-1.7.15	1.7.-1.10.15	1.10.15-4.1.16	
	Bq/m <sup>3</sup>				
Ba enski mlin	23 ± 5	25 ± 5	45 ± 6	34 ± 6	32 ± 5
Debelo Brdo	9 ± 4	10 ± 3	15 ± 2	13 ± 4	12 ± 3

**Tabela V.1.3. nadaljevanje, etrtletna povpre ja koncentracije Rn-222, merjena z detektorji sledi**

JALLOVIŠ EJAZBEC

Merilno mesto	Koncentracija zimsko obdobje 1.10.2014 - 1.4.2015 Bq/m <sup>3</sup>		Koncentracija poletno obdobje 1.4.2015-1.10.2015 Bq/m <sup>3</sup>		Koncentracija letno povpre je
Jazbec , SV brežina odlagališ a, spodaj*	29 ± 4		39 ± 4		34 ± 4

\* do 2013 je bila lokacija Jazbec, SV brežina odlagališ a, zgoraj

JALLOVIŠ EBORŠT

Merilno mesto	Koncentracija 1. etrtletje 5.1.-1.4.15 Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 2. etrtletje 1.4.-1.7.15 Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 3. etrtletje 1.7.-1.10.15 Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 4. etrtletje 1.10.15-4.1.16 Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija letno povpre je Bq/m <sup>3</sup>

Boršt, ovinek-most	17 ± 5	22 ± 4	32 ± 4	32 ± 6	26 ± 5
Boršt etaža	17 ± 5	20 ± 4	27 ± 4	23 ± 6	22 ± 5
MP Boršt	22 ± 5	21 ± 4	27 ± 4	30 ± 6	25 ± 5
Kozolec Potokar	20 ± 5	36 ± 6	24 ± 4	28 ± 6	27 ± 5

## V.2 VODA

**Tabela V.2.1: Koncentracija raztopljenega U-238 v Brebovš ica v Gorenji Dobravi (Brebovš ica po) in v Todraš ica pred izlivom v Brebovš ico (Todraš ica po) ter povpre ni mese ni pretok Todraš ica v letu 2015**

	BREBOVŠ ICA PO		TODRAŠ ICA PO	
	Bq/m <sup>3</sup>	Pretok (m <sup>3</sup> /s)	Bq/m <sup>3</sup>	Pretok (m <sup>3</sup> /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
I. kvartal		0,66	22,5 ± 3,3	0,12
II. kvartal		0,34	52,0 ± 4,0	0,06
III. kvartal		0,52	34,9 ± 3,5	0,10
IV. kvartal		0,68	48,7 ± 1,6	0,13
Povpre je		0,55	40 ± 3	0,10

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

## V.2 VODA

**Tabela V.2.2: Koncentracija raztopljenega Ra-226 v Brebovš ica v Gorenji Dobravi (Brebovš ica po) in v Todraš ica pred izlivom v Brebovš ico (Todraš ica po) ter povpre ni mese ni pretok Todraš ica v letu 2015**

	BREBOVŠ ICA PO		TODRAŠ ICA PO	
	Bq/m <sup>3</sup>	Pretok (m <sup>3</sup> /s)	Bq/m <sup>3</sup>	Pretok (m <sup>3</sup> /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
I. kvartal		0,66	1,3 ± 0,2	0,12
II. kvartal		0,34	2,5 ± 0,4	0,06
III. kvartal		0,52	2,3 ± 0,3	0,10
IV. kvartal		0,68	2,6 ± 0,2	0,13
Povpre je		0,55	2,2 ± 0,2	0,10

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

## V.2 VODA

**Tabela V.2.3: Koncentracija raztopljenega Pb-210 v Brebovš ica v Gorenji Dobravi (Brebovš ica po)  
in v Todraš ica pred izlivom v Brebovš ico (Todraš ica po) ter povpre ni mese ni pretok  
Todraš ica v letu 2015**

	BREBOVŠ ICA PO		TODRAŠ ICA PO	
	Koncentracija (Bq/m <sup>3</sup> )	Pretok (m <sup>3</sup> /s)	Koncentracija (Bq/m <sup>3</sup> )	Pretok (m <sup>3</sup> /s)
I. kvartal		0,66	3,3 ± 1,0	0,12
II. kvartal		0,34	16,0 ± 1,0	0,06
III. kvartal		0,52	28,5 ± 2,0	0,10
IV. kvartal		0,68	22,8 ± 2,4	0,13
Povpre je		0,55	17,7 ± 0,9	0,10

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 2015**

**Datum odvzema vzorca: 01.06.2015 (Brebovš ica Gorenja Dobrava) in 02.06.2016 (ostale lokacije)**

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Brebovš ica pred					
Brebovš ica, Gorenja Dobrava	221 ± 8	4,6 ± 0,3	6,9 ± 2,2	3,9 ± 0,6	0,33 ± 0,04
Todraš ica pred	11,0 ± 0,5	3,3 ± 0,4			
Todraš ica po	42,2 ± 2,4	1,4 ± 0,2	7,4 ± 1,7	7,1 ± 1	0,43 ± 0,04
Sora pred, most Gorenja vas	4,9 ± 0,2	2,5 ± 0,2			
Sora po, Žabja vas	16,5 ± 0,5	2,2 ± 0,2	5,5 ± 1,5	3,9 ± 0,5	0,46 ± 0,04

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

## V.2 VODA

**Tabela V.2.5 Koncentracija raztopljenega U-238 v enkratnih vzorcih vod v letu 2015 iz odlagališ a Jazbec**

**Datum odvzema vzorca: 01.06.2015**

Merilno mesto	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
MM Jazbec	5505 ± 204	40,7 ± 2,2	39 ± 3	16,5 ± 2,6	0,29 ± 0,03
Jazbec kanal	744 ± 34	7,0 ± 0,9	±	±	±
JV-P-10	3403,0 ± 136	40,6 ± 0,2	±	±	±

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 2015

Datum odvzema vzorca: 01.06.2015

Oznaka vrtine	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m <sup>3</sup> )	Ra-226 (Bq/m <sup>3</sup> )	Pb-210 (Bq/m <sup>3</sup> )
BS 30	9,7 ± 0,4	11,0 ± 1,0	
Mrzlek, Dolenja Dobrava	146 ± 5	5,3 ± 0,6	
Vodnjaki			
Dolenja Dobrava			
Drnata			

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju

### V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Brebovš ica po

**Tabela V.3.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Brebovš ica po vletu 2015**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzor enja	4.11.2015					
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
U-238	50	±	4			
Ra-226	62	±	5			
Pb-210	56	±	4			
Th-230	26	±	20			

Lokacija: Todraš ica po

**Tabela V.3.2: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Todraš ica po vletu 2015**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzor enja	3.6.2015			4.11.2015		
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	50	±	4	49	±	3
Ra-226	56	±	4	77	±	7
Pb-210	57	±	4	60	±	4
Th-230		±		79	±	20

Lokacija: Sora po

**Tabela V.3.3: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v sedimentih Sore po vletu 2015**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

Datum vzor enja	5.10.2015					
IZOTOP	Bq/kg			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
U-238	44	±	4			
Ra-226	52	±	4			
Pb-210	52	±	4			
Th-230	26	±	20			

Lokacija: Boršt

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

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

	Datum vzor enja: 18.11.2015		
IZOTOP	Bq/kg		
U-238	110	±	29
Ra-226	91	±	11
Pb-210	83	±	17
Th-230			



---

#### V.4. BIOINDIKATORJI

Tabela V.4.2.: Vsebnost U-238, Ra-226 in Pb-210 v vzorcih lišajev in mahov s področja RŽV v letu 2015

Datum odvzema vzorca: 21.10.2015

Lokacija (lišaj)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt, lišaj	194 ± 30	177 ± 26	455 ± 80

Datum odvzema vzorca: 10.07.2015

Lokacija (trava)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališče Boršt	10,3 ± 1,8	1,2 ± 0,1	58 ± 4

## 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**

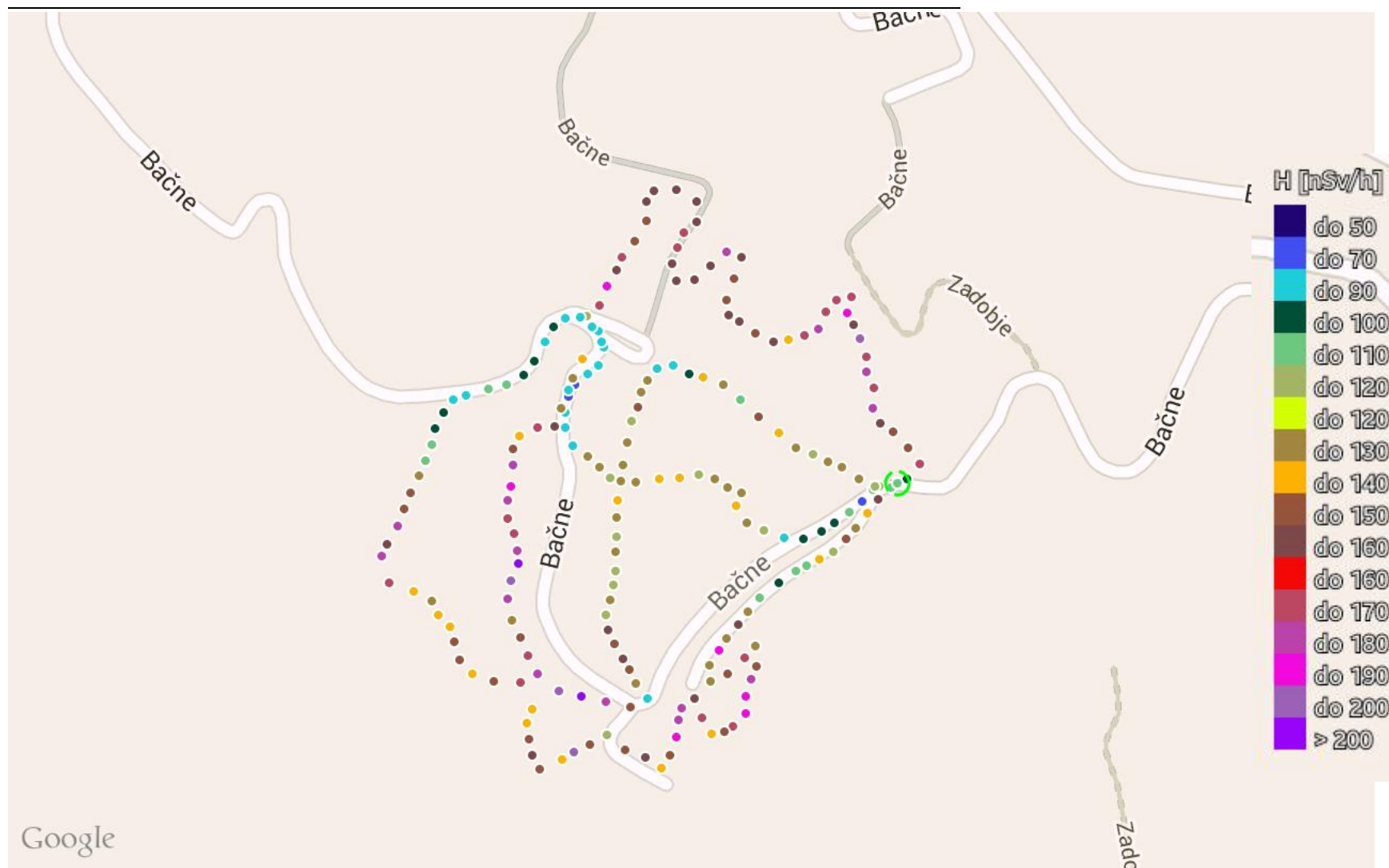
Rezultati so podani v mSv

	<b>1. kvartal</b>	<b>2.kvartal</b>	<b>3.kvartal</b>	<b>4. kvartal</b>	<b>Letna doza</b>
<i>Jazbec</i>	0,315	0,275	0,290	0,318	1,198
<i>Boršt</i>	0,340	0,346	0,333	0,356	1,375
<i>Boršt v ograji*</i>	0,333	0,314	0,330	0,347	1,324

\* (lokacija uvedena namesto lokacije Todraž po prvem kvartalu 2014)

---

Tabela V.5.2 Hitrosti doz na odlagališ u Jazbec (nSv/h), 03.10.2015, AUTOMESS 6150  
AD6, S.N. 109847, sonda št. 107006, meritve je izvedel ZVD



Slika 19: Meritve hitrosti doze ( $\mu\text{Sv/h}$ ) – topografska karta



Slika 20: Meritve hitrosti doze ( $\mu\text{Sv/h}$ ) – orto posnetek iz programa Google Earth





Slika 21: Meritve hitrosti doze ( $\mu\text{Sv/h}$ ) – letalski posnetek

---

## 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 izkoriš anja uranove rude in ocena vplivov na okolje, za leta 2013, 2012, 2011, 2010
- [3] G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriš anja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2010
- [4] Varnostno poro ilo za odlagališ e rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in dopolnitevo varnostnega poro ila, 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 ionizirajo imi 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 BaSO<sub>4</sub> coprecipitation for the preparation of alpha-spectrometric sources, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol.223, No.1-2 (1997), 133-137.
- [11] BENEDIK, Ljudmila, VRE EK, Polona. Determination of <sup>210</sup>Pb and <sup>210</sup>Po 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 poro ila IJS 1990-1995.
- [14] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [15] Poro ila 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 referen ne skupine prebivalstva na obmo ju RŽV, RŽV, 2008.
- [20] Age dependent Doses to Memembers of the Public from Intake of Radionuclides,: Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 71, 1995, Pergamon Press, New York.
- [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 od Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [23] J. Rojc, Prehrambene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
- [24] Assesing Dose of the Representative Person for the Purpuse of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection, ICRP Publication 101, Elsevier, 2006
- [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 izkorišanja 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 terrestrial and freshwater Environments, Technical Report No. 472, IAEA 2010