

Center za fizikalne meritve

Št.: LMSAR-59/2014-GO

Datum: 20.03.2014

**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 2013**



**Ljubljana, marec 2014**

**Avtor: Gregor Omahen**



Naročnik: RUDNIK ŽIROVSKI VRH, javno podjetje za zapiranje  
rudnika urana, d.o.o  
Todraž 1, 4224 Gorenja vas

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

Institut »Jožef Stefan«  
Jamova 39  
1000 Ljubljana

Pogodba številka: CFM/LMSAR-44/2014 z dne 04.03.2014

Nosilec naloge: dr. Gregor Omahen

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh med  
izvajanjem končne ureditve odlagališča Jazbec in Boršt ter  
ocena izpostavljenosti prebivalcev v vplivnem okolju Rudnika  
urana Žirovski vrh, poročilo za leto 2013

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 Nemec, mag. Branko  
Vodenik, Janja Smrke, Petra Planinšek, univ.dipl.ekolog

Kopije: Naročnik (6 x)  
Arhiv CFM (1x)  
Nosilec naloge (1 x)  
IJS (2 x)

NASLOV PORO ILA:

**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 2013**

Avtorji

dr. Gregor Omahen

KLJU NE 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 2013 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,088 mSv, za otroka starega 10 let 0,135 mSv in za otroka starega 1 leto 0,121 mSv, kar predstavlja približno desetino 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 2013 was about 0,088 mSv, for 10 years old child 0,135 mSv and for 1 year old child 0,121 mSv. This represents approximately one tenth 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>10</b>
<b>I.3 SEDIMENTI.....</b>	<b>11</b>
<b>I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5 RIBE.....</b>	<b>12</b>
<b>I.6 MLEKO .....</b>	<b>13</b>
<b>II. POGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUŽV PO ZAKLJU KU KON NE UREDITVE ODLAGALIŠ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2013.....</b>	<b>14</b>
<b>III. OVREDNOTENJE REZULTATOV.....</b>	<b>20</b>
<b>III.1 ZRAK.....</b>	<b>20</b>
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210.....	20
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju.....	24
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov .....	34
<b>III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA .....</b>	<b>39</b>
III.2.1 Vodotoki .....	39
III.2.2 Podtalnica .....	44
<b>III.3 SEDIMENTI .....</b>	<b>45</b>
<b>III.4 MLEKO.....</b>	<b>49</b>
<b>III.5 RIBE .....</b>	<b>49</b>
<b>III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....</b>	<b>50</b>
<b>IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRA NI POTI .....</b>	<b>52</b>
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	52
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	53
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija .....	54
<b>IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....</b>	<b>56</b>
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana .....	56
IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda .....	58
<b>IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....</b>	<b>59</b>
IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	59
IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci .....	59
IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališ .....	60
<b>IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV.....</b>	<b>61</b>

---

<b>IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV .....</b>	<b>62</b>
<b>V. ZAKLJU KI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. PREDLOGI.....</b>	<b>68</b>
<b>VII.REZULTATI MERITEV .....</b>	<b>69</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 živiljenjskega 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 zunanjšega 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. Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, kjer se meritve po letu 2005 ne izvajajo, so se pri izračunu skupne izpostavljenosti privzele vrednosti iz leta 2005.

V letu 2013, petem letu po zaprtju odlagališča Jazbec in tretjem letu po zaprtju odlagališča Boršt, je bil predviden program monitoringa v skladu z Varnostnim poročilom za odlagališče

---

Jazbec (Varnostno poročilo za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005) in bi moral biti bolj obsežen kot v preteklem štiriletnem obdobju. 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 kolikor toliko zanesljivo oceno dozi prebivalcev, ki živijo v okolici rudniških objektov in oceno vpliva na okolje.

Najpomembnejši del programa v letu 2013 je bil, glede na delež v dodatnem prispevku k dozi prebivalstva iz virov RŽV, merjenje koncentracije radona. Merilna mesta so bila postavljena na 9 lokacijah v okolju rudnika, na katerih se je merilo kvartalno z detektorji sledi. Koncentracije radona smo merili tudi znotraj kontroliranega območja rudnika, na odlagališčih Jazbec in Boršt, zaradi spremljanja radona vse od mesta njegovega nastanka. Poleg rednega programa meritev radona z detektorji sledi je RŽV d.o.o. v 2013 naredil tudi meritve višinskega profila koncentracije radona z metodo oglenih detektorjev v zimskem času. Meritve ekshalacije radona na odlagališčih pa ni izvedla pooblaščenca organizacija s strani Uprave RS za jedrsko varnost pa tudi kar Rudnik Žirovski vrh sam.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2013 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v kvartalnih vzorcih Brebovščice in Todrašice, ki sta najbolj izpostavljeni vplivom iz RŽV. V programu za leto 2013 so bile tudi meritve enkratno odvzetih vzorcev vode v Brebovščici in Poljanski Sori, vendar pa je bil v vzorcih določen le U-238, ne pa tudi ostali radionuklidi (Ra-226, Pb-210, Po-210, Th-230). 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, [4]).

V letu 2013 so bile v programu monitoringa meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih v Brebovščici in kanalu Jazbec, ki jih v letu 2012 ni bilo.

V letu 2013 so bile po letu 2011 ponovno izvedene meritve radioaktivnosti v vzorcih mleka. Izvedlo se je meritve v dveh vzorcih mleka ne pa tudi na referenčni lokaciji, ki je sicer bila v programu za 2013. Enako velja za travo/seno.

V letu 2013 je bil v programu predviden tudi nadzor radioaktivnosti v ribah, a ni bil izveden.

V 2013 smo izvajali tudi meritve zunanega sevanja gama s termoluminiscentnimi dozimetri na odlagališču Jazbec in Boršt. Pogostost meritev je bila kvartalna. V programu so bile tudi meritve z merilniki hitrosti dozi na območju odlagališča Jazbec. Meritev na odlagališčih P-1 in P-9 se ne izvaja več, saj se ne obravnavata več kot sevalna objekta. Z meritvami v letu 2013 smo ugotovili, da odlagališče Jazbec ne povzroča več dodatne doze zunanega sevanja v okolici. Meritve na odlagališču Boršt so bile nazadnje opravljene v 2011 in tedaj vpliva izven odlagališča ni bilo mogoče izmeriti.

Program meritev v letu 2013 sta izvajala Institut "Jožef Stefan" in ZVD Zavod za varstvo pri delu. ZVD je kot pooblaščenec varstva pred sevanji ocenil vplive na okolje med izvajanjem končne ureditve odlagališča Jazbec in Boršt ter izračunal dozno obremenjenost prebivalstva zaradi izvajanja končne ureditve odlagališča.



V letu 2013 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 2006 dalje ocenjujemo dozo za tri starostne skupine: odraslega prebivalca, mladostnika (10 let) in otroka (1-2 leti). Tako so tudi v poročilu za leto 2013 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 [5]).

## I. METODE MERJENJA

Metode vzorčenja in določevanja radionuklidov se v letu 2013 ne razlikujejo od metod v preteklih letih.

### 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 obdobij; po programu nadzora merimo trimesečne povprečne koncentracije. Pri meritvah smo uporabili detektorje, ki so jih izdelali v LANDAUER NORDIC iz Uppsale na Švedskem. Laboratorij za 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 Strahlenhygiene, na interkalibracijah evropske skupnosti v NRPB v Veliki Britaniji in redno preverjani s primerjalnimi laboratorijskimi meritvami. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025.

I.1.2 Zrak bioindikatorji (lišaji in mahovi)

Mahov 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 Brebovščica smo vzorčevali enkrat dnevno vsak dan v letu. Vsaki smo odvzeli 1 L vode. Vodo iz potoka Todrašica smo vzorčili 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 določili ali z radiokemijsko nevtronsko aktivacijsko analizo. Metoda temelji na hitri in selektivni osamitvi urana s tri-n-butilfosfatom (TBP) iz kislega medija po končni nevtronski aktivaciji in merjenju vrha gama U-239 na HP Ge detektorju z izvirno [6]. Radiokemijski izkoristek smo določili s sledilcem U-235. Spodnja meja občutljivosti metode je nekaj  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Detektor smo umerili s standardnimi viri (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.2 Raztopljeni Ra-226 v vodi smo določili ali z metodo radiokemijske separacije Ra-226 in meritve na spektrometru alfa [7]. Vzorcju vode smo dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Ba-133 (Analytics, ZDA). Zatem smo dodali  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in sooborili Ba ter Ra v obliki  $\text{PbSO}_4$ . Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  in  $\text{BaSO}_4$ . Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45  $\mu\text{m}$  filter. Tako pripravljen vir za meritve smo zalepili na aluminijasto ploščico. Radiokemijski izkoristek smo določili z meritvami Ba-133 na spektrometru gama, aktivnost Ra-226 pa smo izmerili na spektrometru alfa. Meja detekcije znaša 0,03  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Po-209 (Analytics, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z  $\text{MnO}_2$ . Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa določili aktivnost Po-210. Pb-210 smo določili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [8]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Analytics, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2  $\text{Bq}/\text{m}^3$  in za Po-210 0,03  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.4 Th-230 smo določili ali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytics, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomočjo  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , separirali z uporabo ekstrakcijskih rezin (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z  $\text{NdF}_3$  in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša 0,03  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . 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  $\text{Bq}/\text{kg}$  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 ali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.2 Ra-226 smo določili ali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.3 Th-230 smo določili ali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.4 Pb-210 smo določili ali z metodo VL spektrometrije gama.

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

#### **I.4 Zunanje sevanje gama**

- I.4.1 Merjenje zunanjega sevanja gama opravljamo s termoluminiscentnimi dozimetri ali s prenosnim scintilacijskim merilnikom sevanja AUTOMES 6150 AD6, sonda 6150 AD-b s kristalom s plastičnim scintilatorjem. Termoluminiscentne detektorje in prenosni merilnik redno umerjamo v sekundarnih dozimetrijih 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 odlagališča.

Identifikacijo merilnih mest v naravi smo opravljali s pomočjo natančne karte terena in kompasa. Pri meritvah smo uporabljali prenosni merilnik (tako kot 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**

Vzorke rib smo očistili 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 °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 HNO<sub>3</sub>, HCl in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Po razkroju je bil vzorec uparjen do suhega in raztopljen v HNO<sub>3</sub>. Temu je sledilo soobarjanje Ra s pomočjo PbSO<sub>4</sub>. Po centrifugiranju je bila oborina, v kateri je bil Ra, raztopljena z NaOH in EDTA. Priprava vira za meritve Ra-226 je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z BaSO<sub>4</sub> ter filtracije oborine skozi 0,1 µm filter. Tako pripravljen vir je bil pomerjen v spektrometru alfa. Iz preostalega supernatanta po centrifugiranju je bil sooborjen U s pomočjo Fe(OH)<sub>3</sub>. U je bil separiran od ostalih elementov na koloni UTEVA. Priprava vira za meritve je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z NdF<sub>3</sub> ter filtracije oborine skozi 0,1 µm filter. Tako pripravljen vir je bil pomerjen 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 HNO<sub>3</sub> in HCl. Preostanek po razkroju je bil prefiltriran, raztopina vzorca pa uparjena do suhega in ponovno raztopljena v 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. Svinčevi ioni so bili oborjeni z dodatkom H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> v obliki PbSO<sub>4</sub> in preneseni na merilno ploščico. Tako pripravljen vir je bil pomerjen v plinskem proporcionalnem števcu.

## II. POGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUŽV PO ZAKLJU KU KON NE UREDITVE ODLAGALIŠ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2013

**Opomba:** Vzor evalna mesta z oznako \* pripadajo nadzoru odlagališ 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	Srednja vas Gorenja vas Dolenja Dobrava Gorenja Dobrava Todraž Pod transportnim trakom SV brežina odlagališ a, zgoraj Brebovnica Ba enski mlin* Debelo Brdo* Referen. lokacija Ljubljana-Polje	zrak	kontinuirno vzor evanje	kvartalno	4 4 x 3 4 4 x 3 4 4 4 4 4 4
<b>1. ZRAK BIOINDIKATORJI</b>					
1.3. U, Ra-226, Pb-210  VL gama spektrometrija	Jazbec, neposredna okolica Todraž/Gorenja Dobrava Referen na to ka (zunaj vplivnega obmo ja rudnika) Ni izvedeno na lokacijah Todraž/Gorenja Dobrava in referen na to ka	lišaji, mahovi (sestavljene vzorec)	sezonsko, enkratno	sezonsko (jeseni)	1 1 1

Opomba: Meritve radona na obmo ju odlagališ Jazbec in Boršt so bile vklju ene v program nadzora emisij obeh odlagališ :  
Odlagališ e Jazbec: MP Jazbec (SV brežina odlagališ a Jazbec spodaj), JV rob odlagališ a, Travnik pod doma ijo Podlešan, Doma ija Podlešan  
Odlagališ e Boršt: Ovinek – most, Boršt zgoraj (ob cesti), Boršt etaža, MP Boršt, Kozolec Potokar

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>					
2.1. U-238  raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava	voda	dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4
	Todraš ica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvaratalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Brebovš ica pred Gorenja Dobrava Poljanska Sora pred Poljanska Sora po	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	letno	1 1 1 1
2.2. Ra-226  raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava	voda	dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4
	Todraš ica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
enkratni odvzem	Brebovš ica pred Gorenja Dobrava Poljanska Sora pred Poljanska Sora po  Ni izvedeno	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	letno	1 1 1 1

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

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	Gorenja Dobrava	voda	dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4
	Todraš ica po*	voda	dnevno, trenutni vzorec	kvartalno, kompozitum	4
	Gorenja Dobrava Poljanska Sora po <b>Ni izvedeno</b>	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	letno	1 1
2.4. Po-210 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava	voda	dnevno, kontinuirno	kvartalno, kompozitum	4
	Gorenja Dobrava Poljanska Sora po <b>Ni izvedeno</b>	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	letno	1 1
2.5. Th-230 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Gorenja Dobrava Poljanska Sora po <b>Ni izvedeno na lokaciji Poljanska Sora</b>	voda	enkratno vzor enje (povpre ni pretok)	letno	1 1

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



Vrsta in opis meritve	Vzor evalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor evanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>2. VODE – PODTALNICA</b>					
2.6. U-238 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Drmota (izvir presahnil) Mrzlek	voda	letno	letno	1 1 1
2.7. Ra-226 raztopljen, specifi na radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Drmota (izvir presahnil) Mrzlek	voda	letno	letno	1 1 1
2.8. Pb-210 raztopljen specifi na radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Drmota (izvir presahnil) Mrzlek	voda	letno	letno	1 1 1
<b>3. SEDIMENTI – BREBOVŠ ICA, TODRAŠ ICA IN SORA</b>					
3.1. U – specifi na VL gama spektrometrija	Gorenja Dobrava Poljanska Sora po (Žabja vas)  Jazbec (odvodni kanal)	sediment	kontinuirno polletno vzor enje  polletno, enkratno vzor enje	polletno	2 2  2
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 + 2 + 2
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 + 2 + 2

3.4. Th-230, VL gama spektrometrija	Jazbec (odvodni kanal)	sediment	polletni, enkratno vzor enje	polletno	2
--	------------------------	----------	---------------------------------	----------	---

**Opombe:** Sediment v kanalu Jazbec se vzor i v primeru, da sediment prispeva iztok izcednih voda iz propusta odlagališ a (merilno mesto Jazbec).  
Izvira podtalnice na vzor evalnem mestu Drmota zaradi gradbenih del v neposredni okolici ni ve (izvir trajno presahnil).  
Polletna vzorca sedimentov potokov Brebovš ica in Poljanska Sora se analizirata lo eno ali kot skupni letni vzorec.

Vrsta in opis meritve	Vzor evalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzor evanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
<b>4. VODNA BIOTA – RIBE</b>					
4.1. Ra-226 VL gama spektrometrija	Brebovš ica (Gorenja Dobrava) Poljanska Sora po (Žabja vas) Selška Sora (referen na to ka)  Ni izvedeno	ribe	1 krat letno	1 krat letno, jeseni	1 1 1
4.2. Pb-210 VL gama spektrometrija	Brebovš ica (Gorenja Dobrava) Poljanska Sora po (Žabja vas) Selška Sora (referen na to ka)  Ni izvedeno	ribe	1 krat letno	1 krat letno, jeseni	1 1 1
<b>5. HRANA – PRIDELKI, KRMA</b>					
5.1. Ra-226, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Jazbec, neposredna okolica Todraž/Gorenja Dobrava Referen no mesto  Ni izvedeno: lokacija referen no mesto	mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko	1 + 1 1 + 1 1 + 1
5.2. Pb-210, VL gama spektrometrija 3 leto mleko 5 leto trava/seno in mleko	Odlagališ e Jazbec (okolica) Gorenja Dobrava Referen no mesto  Ni izvedeno: lokacija referen no mesto	mleko trava/seno	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko	1 + 1 1 + 1 1 + 1
<b>6. ZUNANJE SEVANJE GAMA</b>					

6.1. Zunanje okolje TLD	SV brežina odlagališ a, zgoraj	zunanje sevanje	kontinuirno	kvartalno	4
	S brežina odlagališ a Boršt, zgoraj*				4
	Todraž				4
6.2. Neposredna okolica odlagališ a, posamezne merilne to ke prospekcija	Odlagališ e Jazbec – okolica	zunanje sevanje	enkratno	1 krat letno	50
	Odlagališ e Boršt – okolica				

Program monitoringa je naveden v dopolnitvi varnostnega poro ila, Rev A za Odlagališ e rudarske jalovine Jazbec, št. elaborata UZJV---OP/01A, št. projekta UZJV-B103/048, izdelovalec IBE d.d., september 2012.

### III. OVREDNOTENJE REZULTATOV

#### III.1 ZRAK

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

Zadnje meritve dolgoživih radionuklidov v zraku so bile izvedene v letu 2011. V nadaljevanju zaradi preglednosti in razumevanja celotnega vpliva, ki ga Rudnik Žirovski vrh povzroča ali bolje je povzročal v okolju, ohranjamo tekst in tabele iz tega leta 2011.

Iz dosedanjih rezultatov nadzora radioaktivnosti v okolju RŽV je razvidno, da so bile med obratovanjem rudnika in predelavo uranove rude 1985 - 1990 koncentracije urana in Ra-226 v zraku nekajkrat višje od koncentracij na drugih lokacijah po Sloveniji. Najvišje koncentracije U-238 so bile na osrednji lokaciji v Todražu ( $0,004 - 0,089 \text{ mBq/m}^3$ ) in nekaj nižje v Gorenji Dobravi ( $0,002 - 0,027 \text{ mBq/m}^3$ ). To je bilo več od vrednosti na referenčnih lokacijah v Debelem Brdu, v okolici NEK in na drugih lokacijah po Sloveniji ( $0,003 - 0,006 \text{ mBq/m}^3$ ). Tudi povprečna koncentracija aerosolnega Ra-226 je bilo v času obratovanja rudnika v Todražu ( $0,03 - 0,06 \text{ mBq/m}^3$ ) in Gorenji Dobravi ( $0,02 - 0,04 \text{ mBq/m}^3$ ) višje od koncentracij na referenčnih točkah ( $<0,01 \text{ mBq/m}^3$ ).

Po letu 1990, ko so prenehali z izkopom in predelavo uranove rude, so se koncentracije urana in Ra-226 v zraku zmanjšale. Ker ni bilo več drobljenja, transporta in predelave uranove rude, je v zraku manj trdnih zračnih delcev.

Po letu 2011 se v skladu s programom meritev ne izvaja več. V poročilu vseeno ohranjamo poglavje o koncentraciji dolgoživih radionuklidov zaradi vpogleda v celoten program monitoringa in primerjave s preteklimi leti.

Rezultati meritev za leto 2011 so zbrani v tabelah (Tabeli V.1.1 in V.1.2). Vrednosti dolgoživih radionuklidov v zraku v Gorenji Dobravi so v okviru vrednosti oziroma okoli 20% nižje kot v obdobju po 2001 za U-238, Ra-226 in Pb-210. Vrednosti na odlagališču Boršt se gibljejo v mejah, ki jih zaznavamo zadnjih 10 let.

Za uran se koncentracije v Gorenji Dobravi gibljejo med  $0,004-0,013 \text{ mBq/m}^3$ , za radij pa med  $0,003$  in  $0,004 \text{ mBq/m}^3$ . Koncentracije urana in radija so v Gorenji Dobravi nižje od povprečja v obdobju 2003-2010, a višje od povprečja 2003 – 2008. Porasta po 2008 ne pripisujemo vplivu rudnika, saj so bile koncentracije urana na odlagališčih Jazbec in Boršt v omenjenem obdobju v okviru povprečja. Možno je, da je povečanje koncentracije urana po 2008 posledica večjega prašenja oziroma dvigovanja prahu v bližini vzorčevalnega mesta, le to pa je lahko posledica npr. kmetijske ali turistične dejavnosti.

Primerjava koncentracij U-238 in Ra-226 v letu 2011 s koncentracijami v preteklih obdobjih je

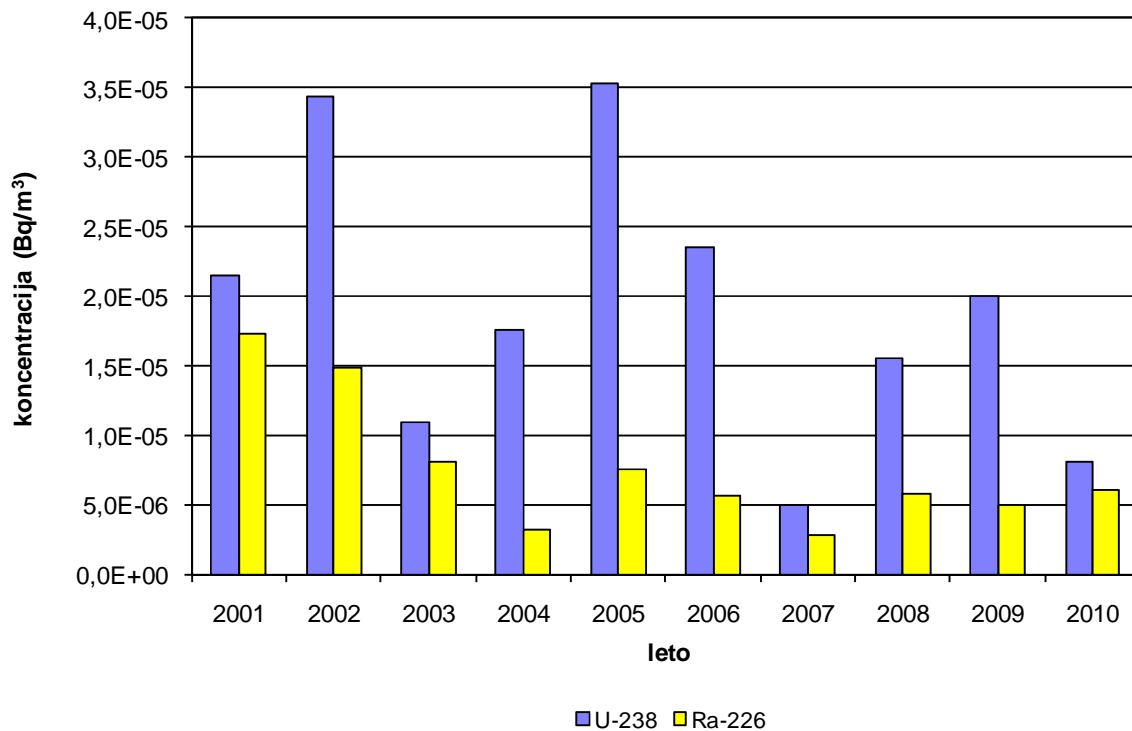
podana v tabeli (Tabela III-1), povprečne vrednosti po letih pa na slikah (Slika 1, Slika 2, Slika 3, Slika 4). Iz slik je vidno, da po letu 2008 na odlagališčih Jazbec in Boršt praktično ni aktivnosti, ki bi povzročale prašenje. Prav tako je vidno povišanje vrednosti U-238 in Ra-226 v letu 2008 in kasneje v Gorenji Dobravi, kar ni posledica zapiralnih del na odlagališčih. Primerjavo s preteklimi leti za lokaciji Todraž in Jazbec do leta 2010 podajamo zaradi celotne slike gibanja koncentracije naravnih radionuklidov v aerosolih v okolju Rudnika Žirovski vrh, pravih meritev v 2011 ni bilo. Za Gorenjo Dobravo in Boršt je vključeno tudi leto 2011.

Koncentracije U-238 predstavljajo le nekaj desetink odstotka mejne izvedene koncentracije, ki jo določa Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS št. 49/2004). Koncentracije Ra-226 so še manjše in predstavljajo le nekaj stotink odstotka mejne izpeljane koncentracije.

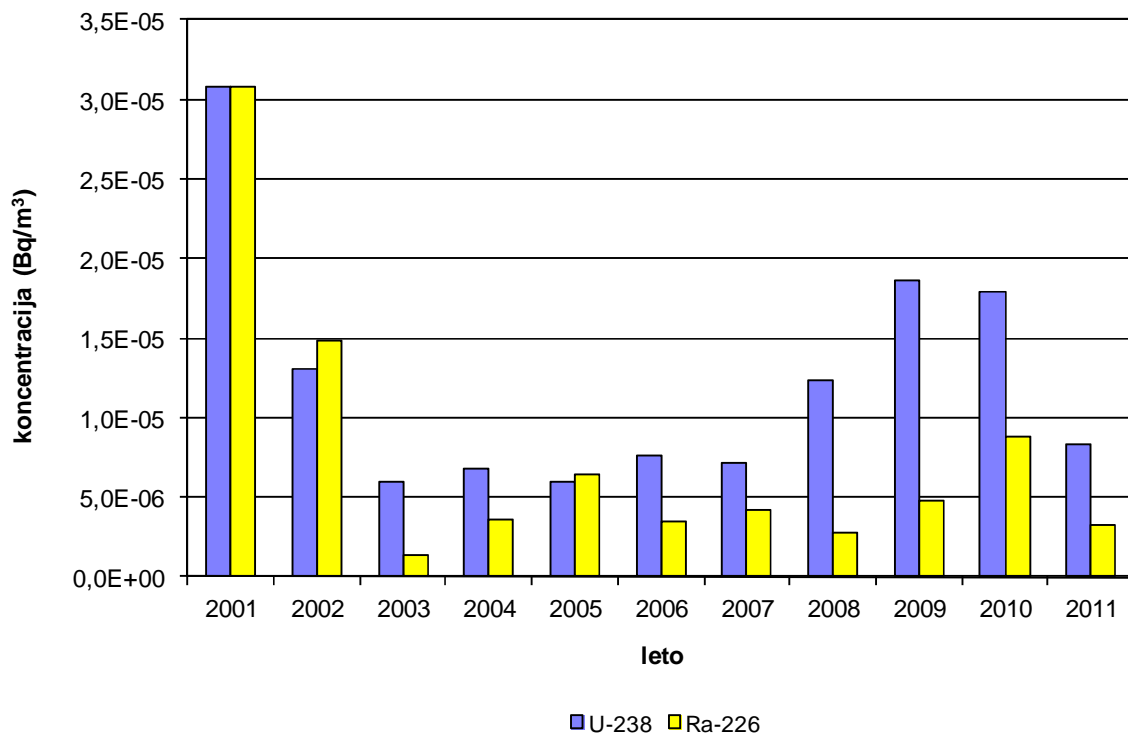
Koncentracije Pb-210 v zraku v okolici Rudnika Žirovski vrh so v okviru vrednosti iz preteklih let. Večji del Pb-210 v zraku v aerosolih je posledica razpada radonovih potomcev v zraku, le manjši del izvira iz dolgoživih radionuklidov. Kontaminacija ozraja s Pb-210 rudniškega izvora je manjša kot odstotek mejne izpeljane koncentracije.

**Tabela III-1: Koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku v okolici RŽV**

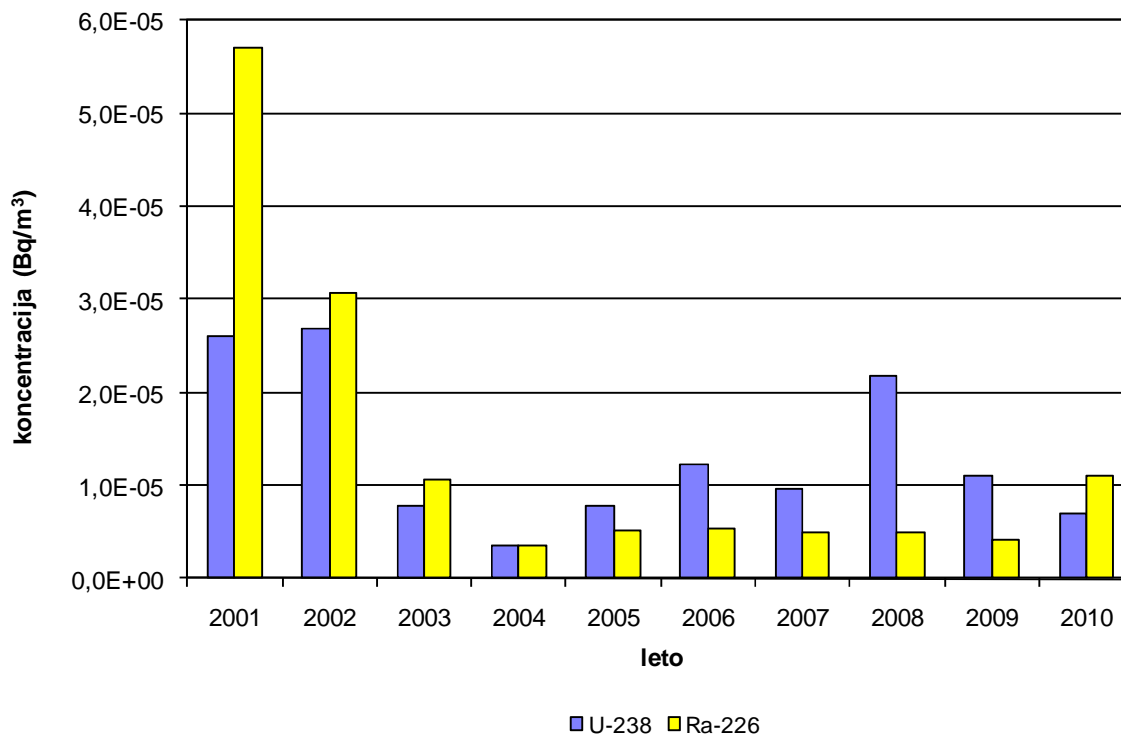
Lokacija	Koncentracija (mBq/m <sup>3</sup> )								
	1985-1990	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Todraž</b>									
U-238	0,05-0,10	0,003-0,033	0,003-0,078	0,012-0,038	0,002-0,008	0,007-0,035	0,009-0,039	0,004-0,014	
Ra-226	0,03-0,06	0,001-0,009	0,001-0,016	0,004-0,009	0,002-0,004	0,002-0,012	0,004-0,007	0,003-0,010	
<b>Gorenja Dobrava</b>									
U-238	0,03-0,08	0,001-0,018	0,006-0,009	0,005-0,011	0,003-0,011	0,003-0,019	0,003-0,044	0,003-0,046	0,004-0,013
Ra-226	0,02-0,04	0,001-0,010	0,001-0,002	0,001-0,007	0,002-0,006	0,002-0,004	0,003-0,019	0,003-0,015	0,003-0,004



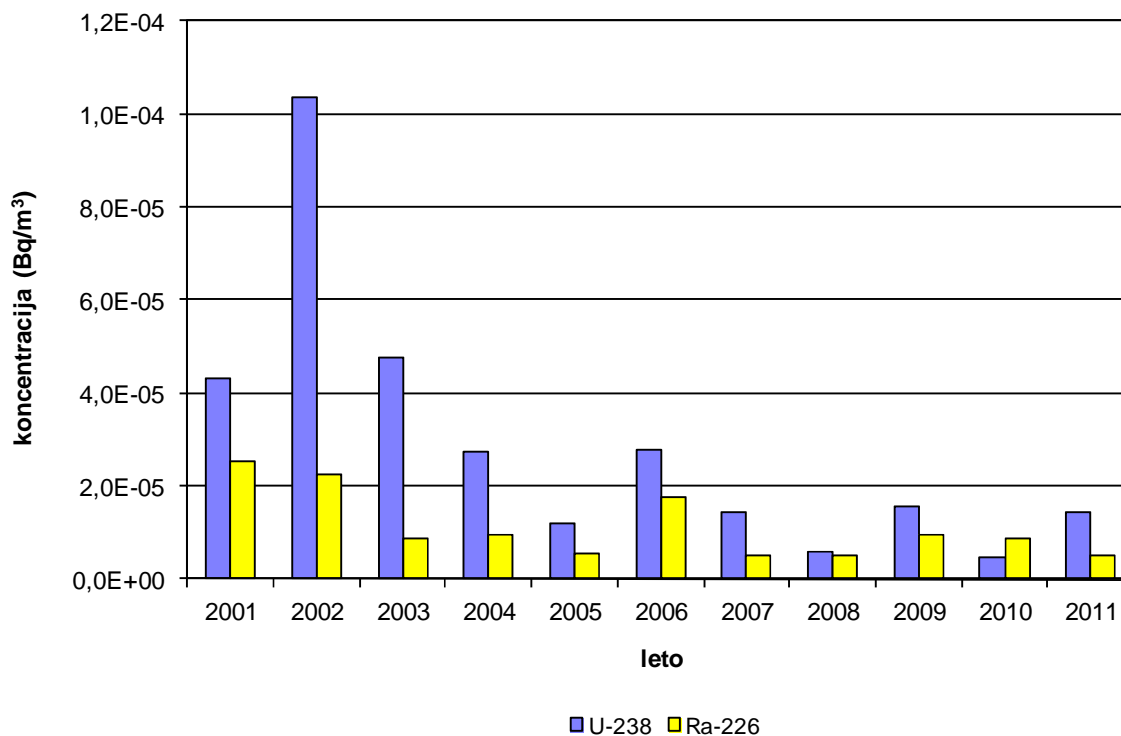
Slika 1: Povpre ne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku v Todražu



Slika 2: Povpre ne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku v Gorenji Dobravi



Slika 3: Povpre ne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku na odlagališ u Jazbec



Slika 4: Povpre ne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku na odlagališ u Boršt

---

### III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju

Emisijska vira Rn-222 na nadzorovanem področju sta:

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

V letu 2000 je RŽV v propust odlagališča Jazbec vgradil zračno zadelko, ki je preprečila naravno zračno enje skozi podkrop. Zadelka je bila odstranjena leta 2006 za potrebe sanacije propusta odlagališča, leta 2008 pa so bila v propustu vgrajena kovinska vrata s sifonom za odvod izcednih voda iz propusta v kanal Jazbec. Odstranili so tudi nasutje jamske jalovine z neprekritih površin platoja P-10, kar ima od leta 2000 dalje za posledico manjše prispevke radona v okolje iz teh površin. V letu 2003 je bila nazaj v jamo odpeljana uranova ruda, ki se je nahajala na platoju nad nekdanjo drobilnico.

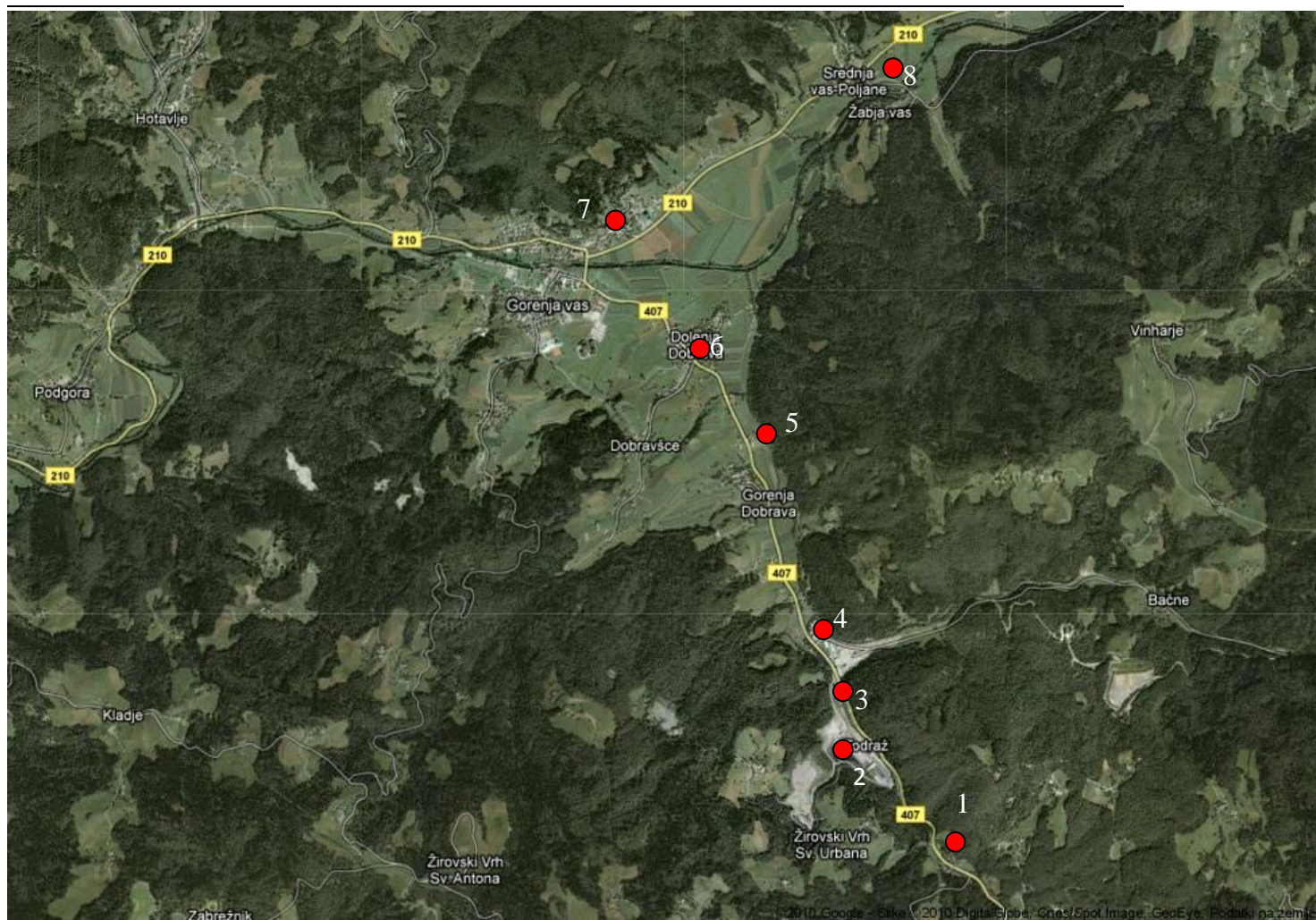
V letu 2007 je potekalo preoblikovanje JZ brežine in zgornje etaže odlagališča Jazbec, izdelovanje prekrivne plasti in zatravitev, tako da je bilo v letu 2007 pokrite 60% celotne površine odlagališča (zgornja etaža). V aprilu leta 2008 so na odlagališču Jazbec nadaljevali z vgradnjo prekrivke. Večino del so izvedli v prvi polovici leta, do oktobra 2008 pa je bilo prekrito celotno odlagališče Jazbec. S tem se je ekshalacija radona na površini odlagališča 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). Povprečna vrednost ekshalacije radona iz odlagališča Jazbec, ki jo je izmeril RŽV d.o.o. (ne pooblaščen organizacija) v letu 2013 je 0,028 Bq/m<sup>2</sup>s v letnem, sušnem obdobju (v letu 2012: 0,025 Bq/m<sup>2</sup>s) in 0,034 Bq/m<sup>2</sup>s v zimskem obdobju.

Na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt je v letu 2008 potekalo preoblikovanje odlagališča zaradi zmanjšanja naklona (manjša verjetnost plazanja). Med deli so odstranili zračno prekrivko, zaradi česar je zračno prišlo do povečane ekshalacije radona (1 – 2 Bq/m<sup>2</sup>s na okoli 5 Bq/m<sup>2</sup>s). Z zračno prekrivko se je ekshalacija radona zmanjševati. Vgradnja zračne prekrivke je potekala od avgusta do konca oktobra 2008, ko je slabo vreme preprečilo nadaljevanje del. V letu 2008 je bilo s zračno prekrivko pokritih okoli 50% celotne površine odlagališča Boršt. V letu 2009 je RŽV zračno prekrivko meseca aprila, končal pa meseca novembra. Zaradi neugodnih vremenskih razmer konec leta 2009, je bila v letu 2010 izvedena vgradnja zadnje, humusne plasti prekrivke na manjšem delu zgornje etažne površine ~ 5.000 m<sup>2</sup>. Z vgrajevanjem prekrivne plasti v obdobju 2008 – 2010 se je ekshalacija radona na odlagališču Boršt zmanjšala na povprečno vrednost 0,04 ± 0,03 Bq/m<sup>2</sup>s.

Povprečna vrednost ekshalacije radona iz odlagališča Boršt, ki jo je izmeril RŽV d.o.o. (ne pooblaščen organizacija) v letu 2013 je 0,080 Bq/m<sup>2</sup>s v letnem, sušnem obdobju (v letu 2012: 0,037 Bq/m<sup>2</sup>s) in 0,030 Bq/m<sup>2</sup>s v zimskem obdobju.

V letu 2013 so se meritve koncentracije radona z detektorji sledi izvajale na lokacijah v dolini Brebovščice in Sore (Slika 5). Lokacije so enake vse od leta 2008 dalje.





Slika 5: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v dolini Brebovščice na zemljevidu Google maps. 1–Brebovnica, 2–Jazbec, 3–Transportni trak, 4–Todraž, 5–Gorenja Dobrava, 6–Dolenja Dobrava, 7–Gorenja vas, 8–Srednja vas

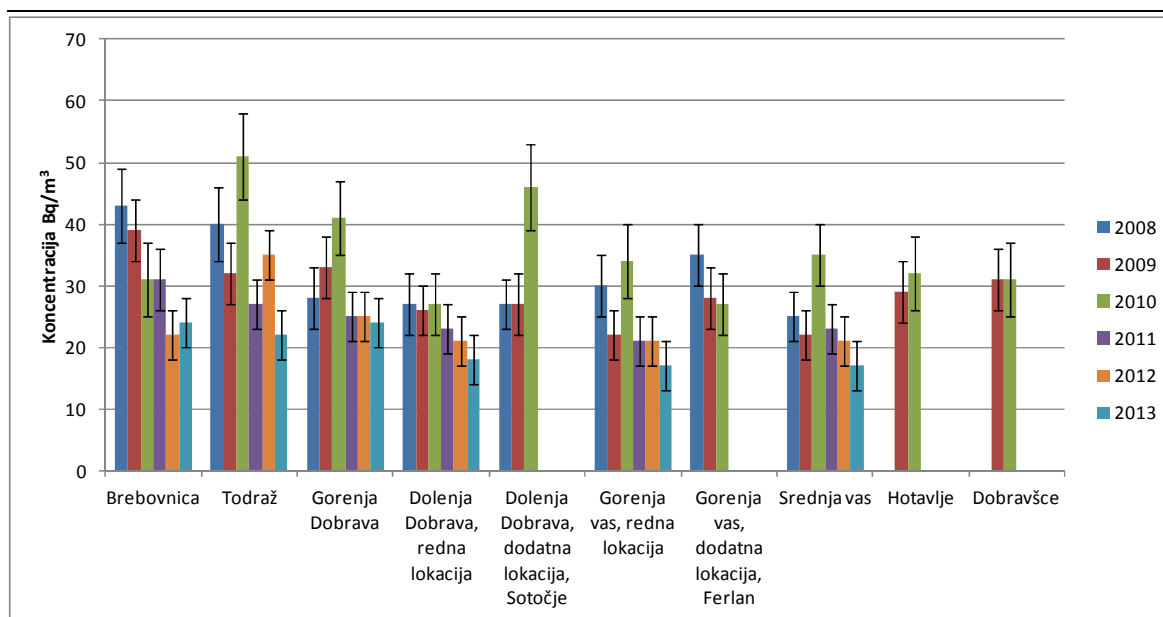
Redna lokacija v Gorenji vasi (lokacija št. 7) je bila v letu 2008 na zahtevo lastnika zemljiš a prestavljena iz travnika, torej iz odprtega prostora, 20 m višje med hiše.

V tabeli (Tabela III-2) povzemamo povpre ne vrednosti koncentracije radona v dolini Brebovš ice, izmerjene z detektorji sledi, v letih 2008-2013.

**Tabela III-2: Povpre ne letne koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, v dolini Brebovš ice v letih 2008-2013 (Bq/m<sup>3</sup>)**

	Brebovnica	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
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	
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	
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	
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
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
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	

Koncentracija radona je bila v 2013 najve ja v Gorenji Dobravi (Slika 6).



Slika 6: Koncentracije Rn-222 v dolini Brebovšice in Poljanske Sore, merjeno z detektorji sledi

V obdobju 2011-2013 so vrednosti izmerjene z detektorji na najnižji ravni v zadnjih letih. Če iz vzamemo leto 2010, lahko ugotovimo, da so se koncentracije radona ustalile na dokaj nizkih vrednostih. V letu 2010 RŽV d.o.o. ni izvajal večjih zapiralnih del, a so bile izmerjene vrednosti na vseh lokacijah v tretjem kvartalu v povprečju za petino višje od povprečja. Prav zadnji kvartal v letu 2010 prispeva v splošnem k višjim letnim povprečnim vrednostim v primerjavi z ostalimi leti. Domnevamo, da je to posledica vremenskih razmer v zadnjem kvartalu 2010 z večjim številom dni inverzije in slabe prevetrenosti doline. Domnevamo pa tudi, da je bilo po končanem delu na odlagališčih potrebnega nekaj časa, da so se razmere umirile, stabilizirale in da lahko v prihodnosti pričakujemo podobno nizke koncentracije radona v dolini Brebovšice. Emisije radona iz odlagališč so namreč po končanem zapiralnem delu nizke in komaj kaj višje od ozadja.

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. Do leta 2011 je izvajalec meritve detektorje sledi naročil pri nemškem radonskem laboratoriju KfK iz Karlsruhea, v letu 2011 pa pri švedskem podjetju Landauer Nordic. Razlika med obema inštitucijama je v tem, da je podjetje Landauer Nordic 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 [2].

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 leta 2009 upoštevali razliko koncentracij radona v 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). S problemom določitve prispevka RŽV k povišanju koncentracij radona v okolju smo se srevali že v 2008. Tedaj smo menili, da je problem določitve prispevka rudniškega radona

povezan s preselitvijo dolgoletne lokacije v Gorenji vasi. V letu 2008 smo namre lokacijo meritev koncentracije radona na redni lokaciji v Gorenji vasi, zaradi potreb lastnika zemljiš a predstavili iz odprtega zemljiš a (travnik) med objekte. Zra ne razdalje med novo in staro lokacijo je le 20 m, vendar pa lahko že majhna razdalja vpliva na rezultate, e so mikroklimatske razmere druga ne.

Že v 2009 se je izkazalo, da po ureditvi rudniških virov radona, ki še prispevajo dodatni radon v dolino potoka Brebovš ica, obstoje a metodologija ne zadoš a ve za oceno prispevka rudniškega radona k morebitnim pove anim koncentracijam radona v okolju. Zato je RŽV v 2010 naro il izdelavo študije »Metodologija za oceno Rn-222 prispevka RUŽV« [1]. Študija ugotavlja, da metodologija iz preteklosti ni ve 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 odlagališ u Jazbec iz obdobja po zaprtju rudnika, ko se še niso za ela izvajati zapiralna oziroma ureditvena dela (1991-1995) in povpre nega 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 Bq/m <sup>3</sup> .
$\Delta \bar{C}_{Rn, Jazbec, Y}$	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 Bq/m <sup>3</sup> .

Z uporabo navedene metodologije dobimo za leto 2013 prispevek rudniškega radona na lokaciji Gorenja Dobrava:

---

$$\Delta C_{Rn,Y} = 7,3 \pm 1,5 Bq/m^3 * \frac{33 \pm 6 Bq/m^3}{94 \pm 9 Bq/m^3} = 2,6 \pm 0,9 Bq/m^3$$

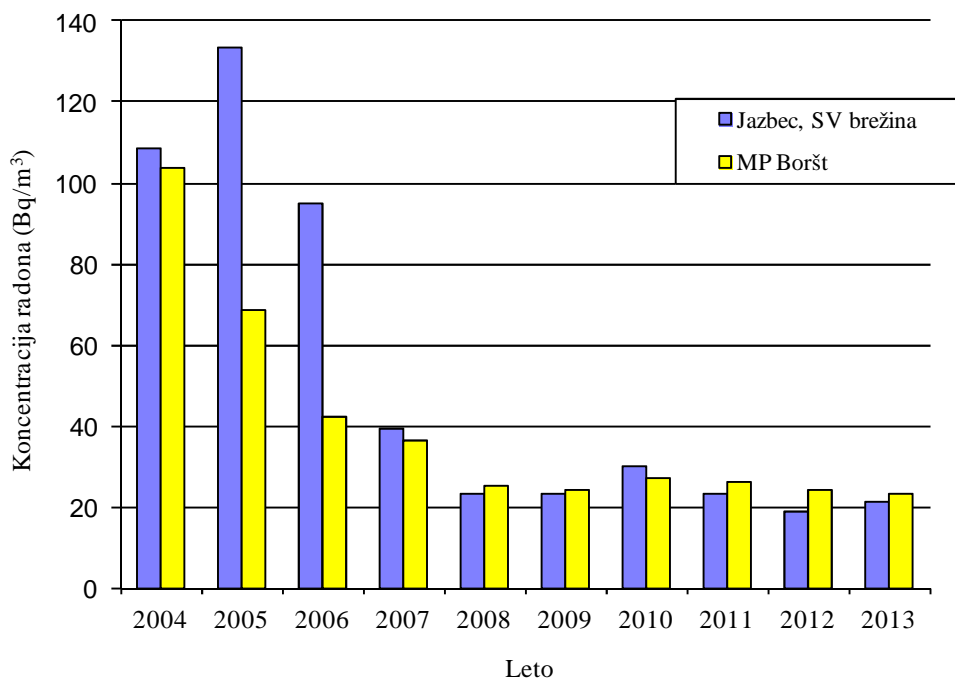
Negotovost ocene je podana s faktorjem zaupanja  $k=2$ .

e namesto izmerjene koncentracije na lokaciji Pod transportnim trakom vstavimo izmerjeno koncentracijo na lokaciji Jazbec – merilna postaja, bi bil izra unani prispevek rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi  $2,5 \pm 0,9 Bq/m^3$ . Zaradi konservativnega pristopa k izra unu doze, upoštevamo prispevek iz tiste lokacije, ki je ve ji.

Ocena rudniškega prispevka po navedeni metodologije je konservativna, saj ne upošteva ozadja v izra unanih povpre jih v obdobju 1991-1995.

V letu 2009 in 2010 je ZVD v dogovoru z RŽV izvedel meritve koncentracije radona tudi v Hotavljah ob doma iji Jezeršek in na Dobravščah v dolini pod hišo Lavri evih [2]. Iz izmerjenih vrednosti na lokacijah po dolini Brebovš ice ne moremo ugotoviti prispevka rudniškega radona na osnovi dosedanje metodologije. Vrednosti v Todražu, Gorenji Dobravi, Dolenji Dobravi, Gorenji vasi, Hotavljah ali Dobravščah so namre razlikujejo znotraj merilne negotovosti.

Zanimivo je, da so na odlagališ u Boršt (Boršt, merilna postaja) in Jazbec (SV brežina odlagališ a, zgoraj) izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2013 za ve kot dvakrat nižje kot pred 2008 (Slika 7). Na ostalih lokacijah v okolici RŽV, predvsem pa v dolini Brebovš ice, ve jih 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 obstoje o metodologijo, kar smo obravnavali v zgornjem tekstu.

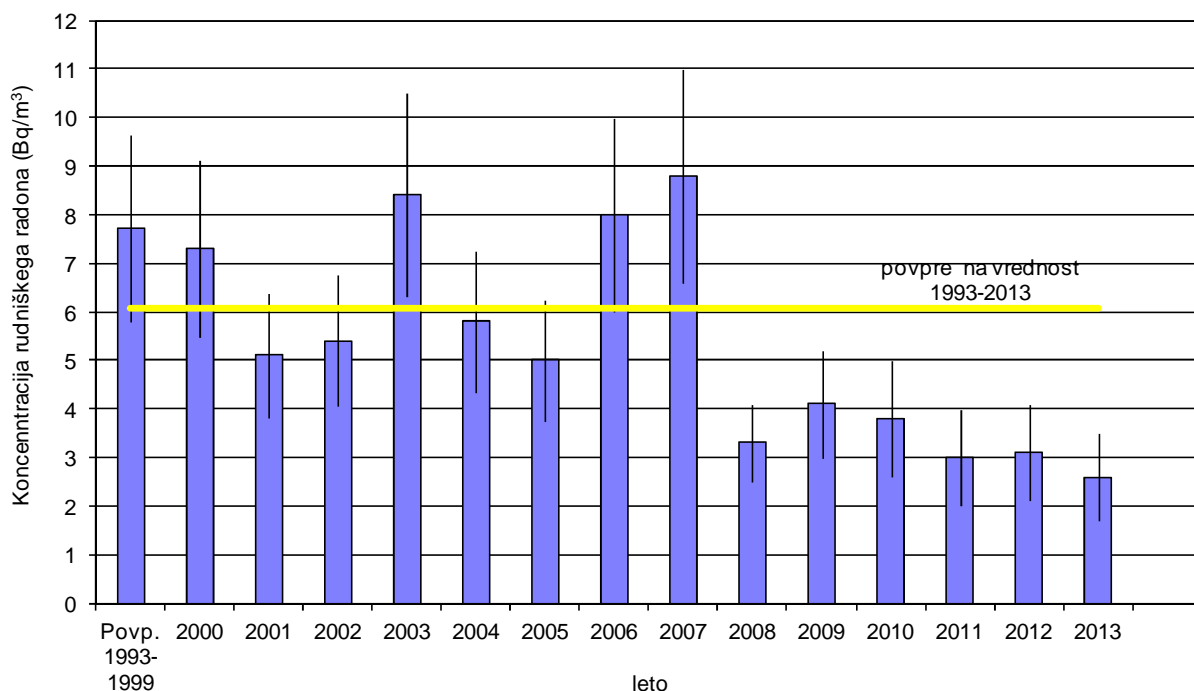


Slika 7: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt

Iz tabele (Tabela III-3) in slike (Slika 8) 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	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Prispevek RŽV	7,6	6,6 ± 3,4	3,3±0,8	4, 1±1,1	3,8±1,2	3,0 ± 1,0	3,1 ± 1,0	2,6 ± 0,9



**Slika 8: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju**

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2013 je  $6,1 \text{ Bq/m}^3$ .

Po letu 2005 se je prenehalo z izvajanjem mesečnih meritev dvodnevni koncentracije Rn-222 po dolini Brebovšice med Gorenjo vasjo in Brebovnicami ter na odlagališčih Jazbec in Boršt. Namesto mesečnih meritev se je dvakrat letno, v zimskem in letnem času, izmerilo višinski profil po dolinah Brebovšice in Todrašice. V letu 2012 so bile meritve zaradi pomanjkanja finančnih sredstev izvedene le v letnem času, meritve v zimskem času pa so bile zaradi navedenih težav narejene na začetku leta 2013. Rezultati so podani v tabeli (Tabela III-4).

Tako kot v preteklih letih je v letu 2013 opaziti trend upadanja koncentracij Rn-222 po dolini Brebovšice od Todraža proti Gorenji vasi, kjer dosežejo raven ozadja. Z zračnimi tokovi se radon razširja po dolini ob Brebovšici navzdol in nato v smeri toka reke Sore. V širino se zaradi geografskih značilnosti radon ne razširja veliko, zato koncentracije vzdolž te poti ostajajo povišane.

Spremembe koncentracije radona in njegovih potomcev so zelo odvisne od vremenskih razmer. V dolini pod Žirovskim vrhom je pojav temperaturnih inverzij pogost. Ob tem je omejeno vertikalno mešanje zraka, kar ima za posledico povišanje koncentracij radona. Zimske vrednosti so običajno znatno višje ravno zaradi dolgotrajnejših temperaturnih inverzij. Najnižje koncentracije v tem času so v Debelem Brdu, ki leži nad povprečno višino inverzijske meje.

**Tabela III-4: Koncentracija Rn-222 v okolici rudnika urana Žirovski vrh merjeno z oglenimi adsorberji**

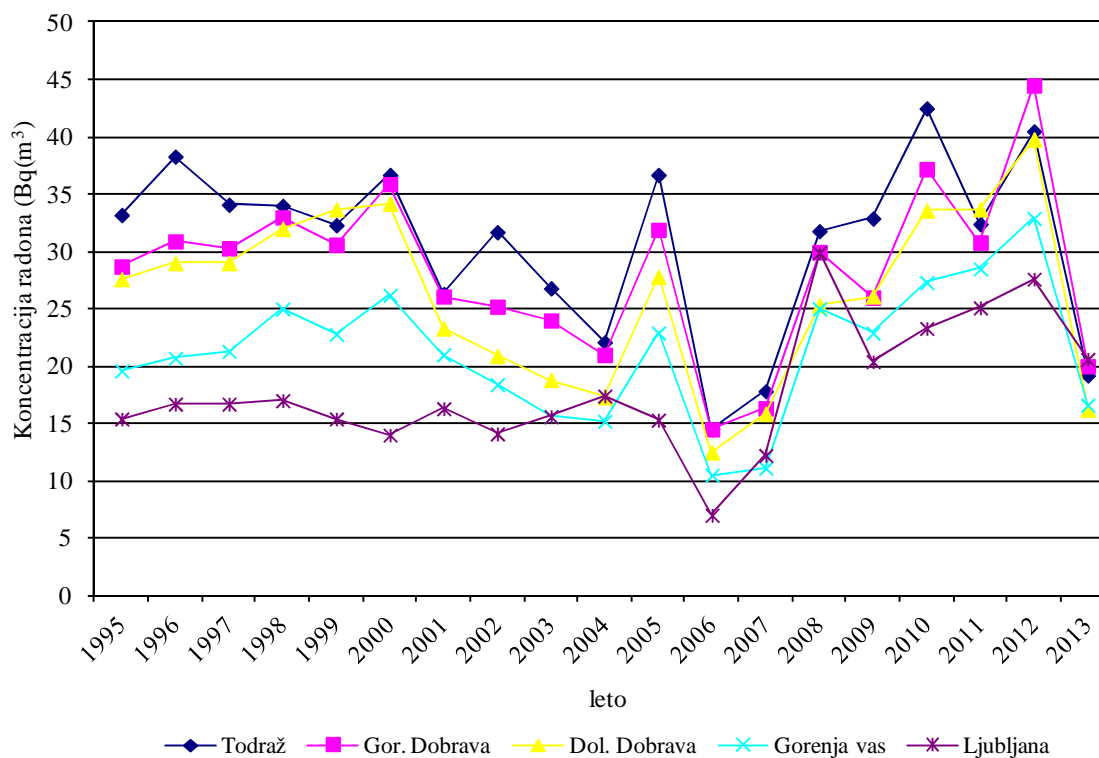
Lokacija	Oddaljenost od obratov RŽV	Koncentracija Rn-222 (Bq/m <sup>3</sup> )
		Zimska meritev 2013
Todraž	0,4 km	19,2 ± 3,1
Gorenja Dobrava	1,4 km	20,0 ± 3,1
Dolenja Dobrava	1,8 km	16,2 ± 2,5
Gorenja vas	2,6 km	16,6 ± 2,6
<i>Ljubljana</i>	<i>26 km</i>	<i>20,6 ± 3,2</i>

V smeri proti Brebovnici, se koncentracije Rn-222 zmanjšujejo nekoliko počasneje kot v smeri proti Gorenji vasi. Po dolini Todraške so koncentracije radona prav tako povišane; najvišje so v Bašenskem mlinu, ki leži pod odlagališčem Boršt (Tabeli V.1.4 in V.1.5). Za primerjavo z rezultati preteklih let podajamo pregledno tabelo (Tabela III-5) in graf (Slika 9) s povprečnimi letnimi koncentracijami dobljenimi iz dvodnevni meritev. Izmerjene vrednosti so nekaj višje kot v preteklih letih. Poudariti je potrebno, da je bila v 2012 izvedena letna meritev z oglenimi adsorberji, medtem ko je bila zimska meritev izvedena na začetku leta 2013, ko so to omogočila finančna sredstva.

**Tabela III-5: Povprečne letne koncentracije Rn-222 (Bq/m<sup>3</sup>) merjeno z oglenimi adsorberji v okolici RŽV v obdobju 1995 - 2013**

Lokacija	Povpre je 1995-2001	Povpre je 2002-2008	2009	2010	2011	2012	2013	Povpre je 2009 – 2013
Todraž	33,6	25,9 ± 8,4	32,9 ± 5,0	42,5 ± 7,4	32,4 ± 5,1	40,5 ± 6,4	19,2 ± 3,1	33,5 ± 9,1
Gor. Dobrava	30,8	23,2 ± 6,3	26,0 ± 4,2	37,2 ± 6,6	30,8 ± 5,0	44,5 ± 7,0	20,0 ± 3,1	31,7 ± 9,4
Dol. Dobrava	29,8	19,8 ± 5,2	26,1 ± 4,1	33,6 ± 5,9	33,7 ± 5,6	39,8 ± 6,3	16,2 ± 2,5	29,9 ± 9,1
Gorenja vas	22,4	16,9 ± 4,6	22,9 ± 3,6	27,3 ± 4,6	28,5 ± 4,7	32,9 ± 5,2	16,6 ± 2,6	25,6 ± 6,2
<i>Ljubljana</i>	<i>15,9</i>	<i>15,9 ± 3,7</i>	<i>20,4 ± 3,2</i>	<i>23,3 ± 4,3</i>	<i>25,1 ± 4,2</i>	<i>27,6 ± 4,4</i>	<i>20,6 ± 3,2</i>	<i>23,4 ± 3,1</i>





**Slika 9: Povpre ne letne koncentracije radona v okolici RŽV, merjeno z oglenimi adsorberji**

Koncentracije Rn-222 izmerjene z metodo oglenih adsorberjev se po letih precej razlikujejo. Razlog je v tem, da se letno izvaja le dve meritvi, eno v letnem in eno v zimskem času, in so vremenski vplivi pri dveh meritvah bistveno večji kot pri dvanajstih meritvah. Dvodnevne meritve lahko služijo le za primerjavo trenutnih dvodnevni povprečij, ne moremo pa rezultatov uporabljati za primerjavo letnih povprečij.

V Todražu in Gorenji Dobravi, ki sta najbližja rudniku, je povprečje zadnjih let  $33,5 \text{ Bq/m}^3$  in  $31,7 \text{ Bq/m}^3$ . V dolini reke Sore, kjer vpliva rudniških virov radona ni moč zaznati, se koncentracija spusti na okoli  $20\text{-}25 \text{ Bq/m}^3$ . Iz tega sklepamo, da je rudniški prispevek k povečanju koncentracije Rn-222 v okolici nekaj  $\text{Bq/m}^3$ .

Najvišje izmerjene dvodnevne koncentracije Rn-222 so znotraj nadzorovanega področja na področju odlagališča in transportnega traku. Nadzor v letih pred 2006 je pokazal, da so te vrednosti 3-4 krat večje od vrednosti v okolici rudnika. Razlike po letu 2006 so manjše, iz trenutnega števila meritev pa je zaradi velikega vpliva vremenskih razmer pri omejenem številu meritev, trditve težko potrjevati. Ocenjujemo, da se je razlika v koncentraciji radona med območjem odlagališča in okolico odlagališča zaradi nanašanja prekrivke v letih 2007-2010 zmanjšala in je kvečkemu nekaj  $\text{Bq/m}^3$ . V letu 2012 in 2013 meritve koncentracije radona z metodo oglenih detektorjev na odlagališčih niso bile v programu.

Pomemben podatek k radiološki obremenitvi prebivalcev pa ni le koncentracija Rn-222

---

temve tudi njegovih potomcev. Na lokaciji rudnika prihaja radon v ozra je. Z razdaljo od rudnika koncentracija rudniškega radona pada, ravnovesni faktor pa naraš a. Na osnovi meritev in analiz meteoroloških podatkov so izvajalci programa nadzora ugotovili (poro ilo IJS 1990, [10]), da je ravnotežna koncentracija radona najve ja v okolici Gorenje Dobrave.

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

V letih 2012 in 2013 v programu ni bilo meritev koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo ogljenih adsorberjev, to je v okolici odlagališ Boršt in Jazbec. Zato v nadaljevanju navajamo podatke iz leta 2011. Na odlagališ u Boršt so koncentracije radona obi ajno najve je na spodnjem robu odlagališ a ( $40,1 \pm 7,7 \text{ Bq/m}^3$ ), nižje so na sredini slemena. Izven odlagališ a koncentracije padajo in se pri kmetiji Potokar približujejo tistim v Gorenji Dobravi. Vrednosti v dolini Todraš ice so najvišje v Ba enskem mlinu, medtem ko so v dolini Brebovš ice dolvodno od rudnika najvišje v Gorenji Dobravi. V letu 2011 so izmerjene vrednosti koncentracije radona z metodo ogljenih adsorberjev podobne kot v 2010. Na rezultate meritev koncentracije radona z detektorji sledi mo no vplivajo vremenske razmere. Ker z metodo zajamemo le dvodnevni asovni interval, lahko inverzija ali prevetrenost bistveno dvigne ali zmanjša koncentracije radona. Zato letne primerjave dvodnevnih koncentracij niso povsem smiselne.

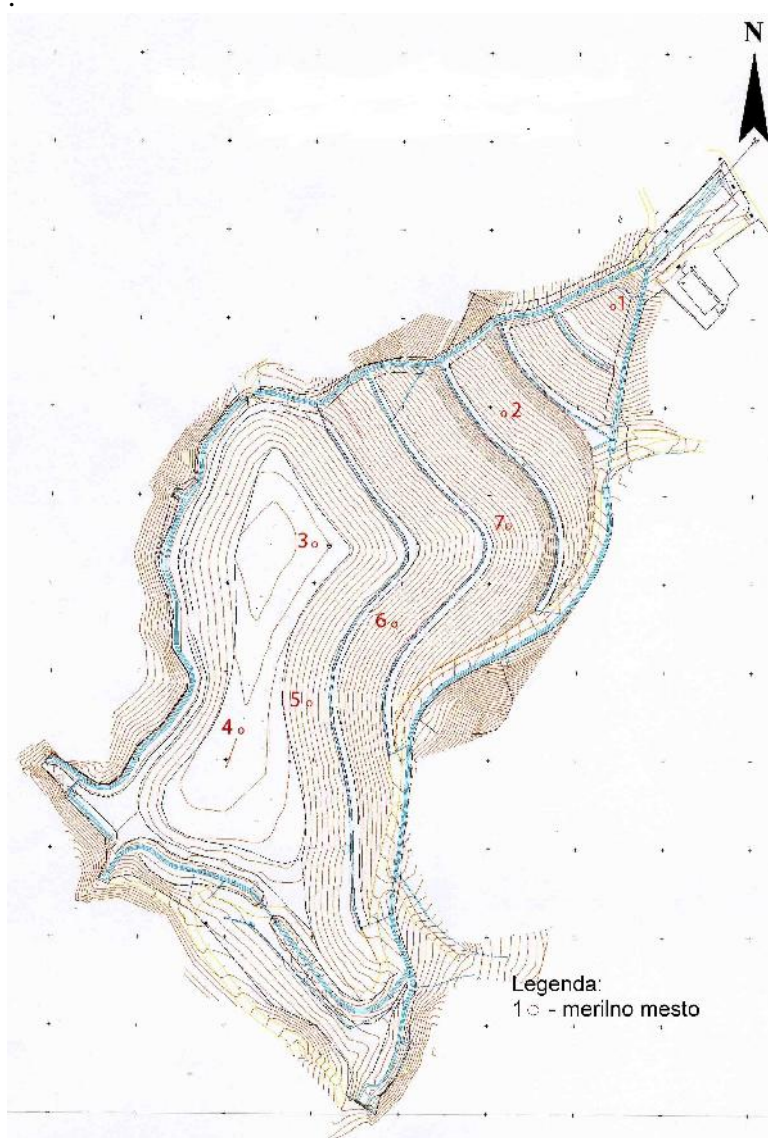
Na odlagališ u Jazbec so bile povpre ne koncentracije radona v letu 2011 v povpre ju enake kot na Borštu (Tabeli V.1.6 in V.1.7, lokacije meritev MP Jazbec, spodnji rob travnika Jazbec, Boršt ovinek, Boršt zgornja etaža, Boršt kozolci Potokar).

Na odlagališ u Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona v preteklih letih obi ajno višje kot na Borštu. Po letu 2006 so koncentracije radona na Jazbecu padle in so podobne kot v Todražu. Razlog za manjše koncentracije radona na Jazbecu je v velikih koli inah materiala, ki so ga na odlagališ e Jazbec navozili iz drugih za asnih rudniških odlagališ in iz razgradnje rudniških objektov ter v prekrivanju in zatratitvi površin odlagališ a. V preteklih letih je potekalo odlaganje, sejanje, ravnanje in komprimiranje jamske jalovine ter kontaminiranih nasutij in zemljin iz dekontaminacije zunanjih jamskih objektov in dovoz materiala iz za asnih odlagališ P-1 in P-9, nasutja P-36 in platoja P-10. V letu 2007 so bili odstranjeni objekti na platoju P-11, izvedeno zavarovanje površin proti eroziji in preoblikovanje JZ brežine. V letu 2008 so odlagališ e Jazbec v celoti prekrili s prekrivko. Ekshalacija radona se je na prekritih površinah zmanjšala iz **0,5 – 1,0 Bq/m<sup>2</sup>s** na vrednosti naravnega ozadja **10<sup>-2</sup> Bq/m<sup>2</sup>s (Todraž)**. Približno 60% odlagališ a Jazbec so s prekrivko prekrili v letu 2007, ostalo prekritje pa postopoma izvedeli do oktobra 2008, pri emer so bila dela najbolj intenzivna v aprilu 2008.

V letu 2010 je ZVD izvedel meritve ekshalacije radona v septembru in novembru (poro ila ZVD št. LMSAR-20100053-PJ in LMSAR-20100067-PJ), Slika 10. Povpre na hitrost izhajanja radona iz tal je bila  $0,035 \pm 0,026 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ . Avtorizirana mejna vrednost za ekshalacijo radona na odlagališ u Jazbec je  $0,1 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ .

V letu 2011 je ZVD izvedel meritve ekshalacije na odlagališ ih v letnem (poro ili LMSAR-

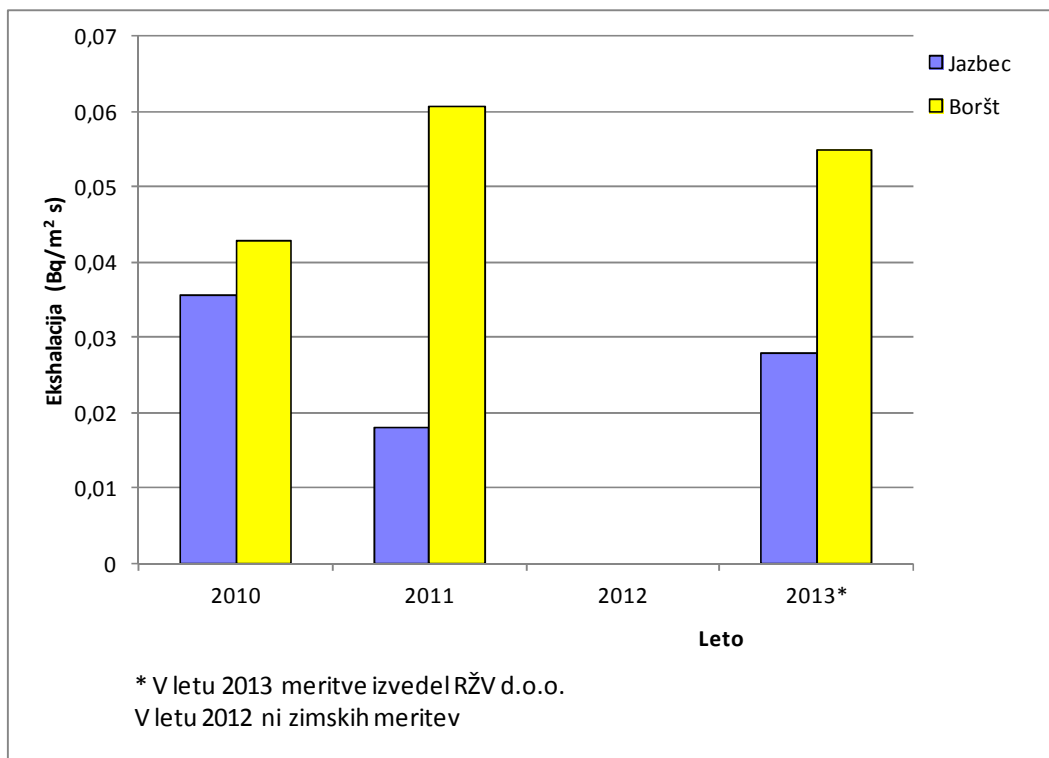
20110019-PJ in LMSAR-20110019-A-PJ) in zimskem času (poročila LMSAR-20110019-B-PJ in LMSAR-20110019-C-PJ). Povprečna vrednost izhajanja radona iz tal na odlagališču v Jazbec je bila v letnem času  $0,059 \pm 0,002 \text{ Bq/m}^2\text{s}$  in v zimskem času  $0,096 \pm 0,015 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ .



**Slika 10: Lokacije meritev ekshalacije radona na odlagališču v Jazbec v letu 2010 in 2011. Najvišje vrednosti so izmerjene na lokaciji št. 4, najnižje na lokaciji št. 6.**

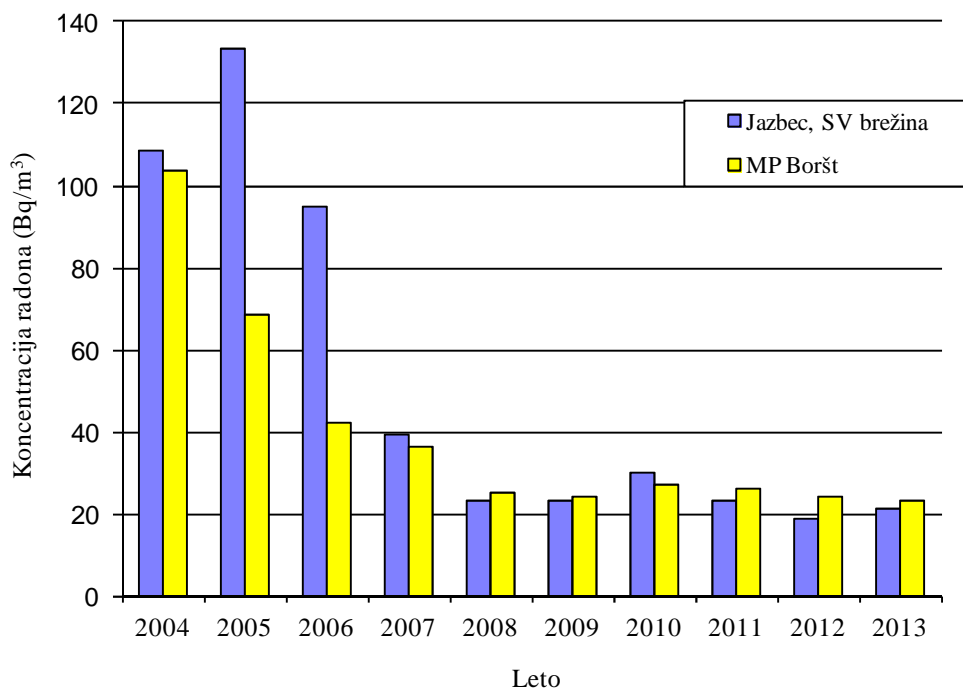
Povprečna letna ekshalacija radona iz odlagališč je prikazana na sliki (Slika 11). Ker se meritve ekshalacije izvajajo ob asno, so rezultati močno odvisni od vremenskih razmer v času meritve. Suha, razpokana zemlja vpliva na večjo ekshalacijo medtem ko mokra in zbita zemlja prepušča manj radona. V letu 2012 in 2013 je RŽV d.o.o. sam izvajal meritve in po drugačni metodi kot v letih poprej pooblaščen organizacija za izvajanje meritev radona

Poudariti je potrebno, da so izmerjene vrednosti ekshalacije radona nekajkrat manjše od avtorizirane vrednosti za ekshalacijo radona iz površine odlagališ a:  $0,1 \text{ Bq/m}^2 \text{ s}$  za odlagališ e Jazbec in  $0,7 \text{ Bq/m}^2 \text{ s}$  za odlagališ e Boršt.



**Slika 11: Ekshalacija radona iz odlagališ Jazbec in Boršt po izvedenih zapiralnih delih. Prikazano je povpre je letnih in zimskih meritev.**

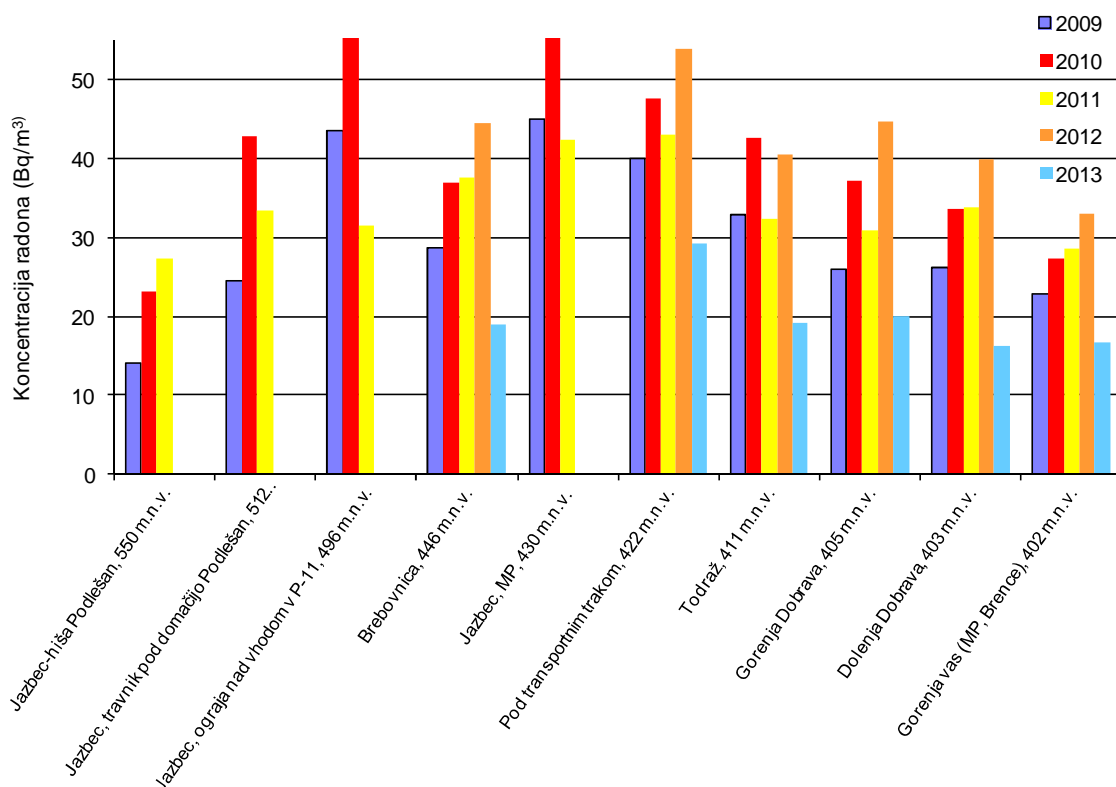
Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališ ih Jazbec in Boršt so vplivala na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališ ih. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije je prikazan na sliki (Slika 12).



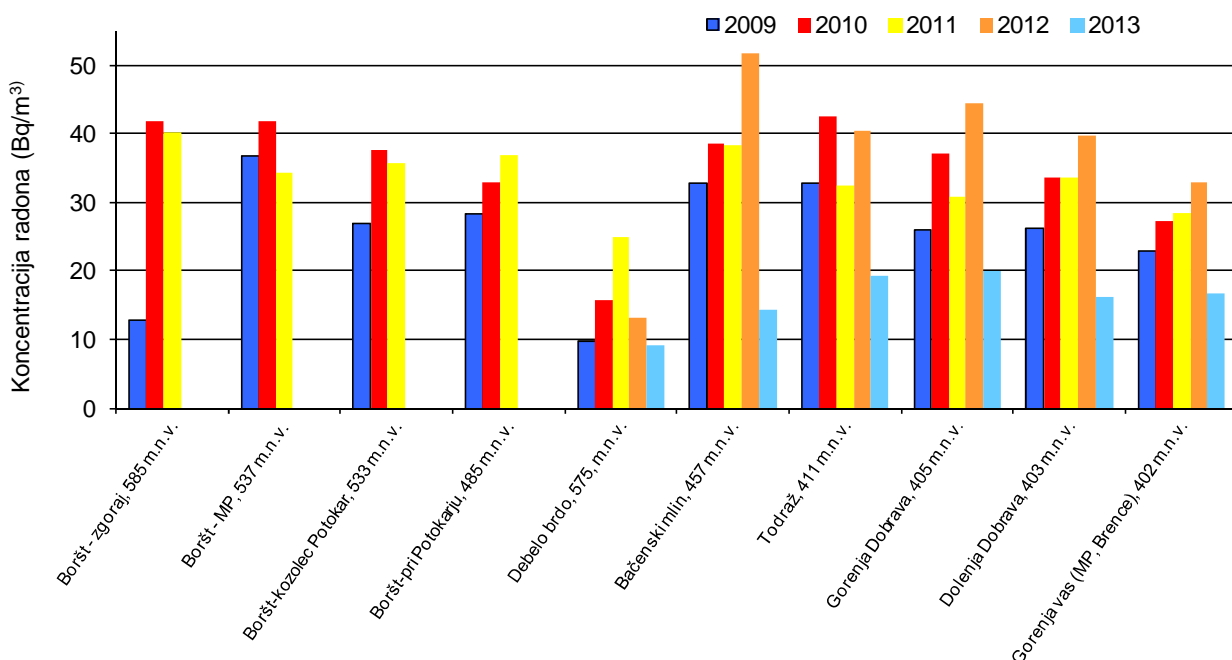
**Slika 12: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt**

Zelo pomemben vpliv na koncentracije radona na odlagališčih imajo meteorološki pogoji. V zimskih dneh, ko je temperaturna inverzija pogostejša in daljša, so koncentracije radona na odlagališčih u Jazbec višje kot na odlagališčih u Boršt. Odlagališče 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 Boršt v celoti nad njo.

Na slikah (Slika 13, Slika 14) so višinski profili koncentracije radona po dolinah Brebovšice in Todrašice. Vrednosti po letih se sicer razlikujejo, kar je posledica kratkega časovnega intervala meritev, trend spreminjanja po obeh dolinah pa ostaja enak. Na odlagališčih so koncentracije višje, nato pa z oddaljenostjo od odlagališč in nadmorsko višino padajo. Je pa po izvedenih zapiralnih delih mogoče zaključiti, da razlike med lokacijami niso več tako velike kot v preteklosti in da je prispevek radona iz odlagališč zelo nizek oziroma na meji merljivosti. Na Debelem Brdu, ki je običajno nad inverzijsko mejo, so koncentracije radona nižje kot na ostalih lokacijah v dolini Todrašice.



Slika 13: Višinski profil koncentracije radona po dolini Brebovš ice, merjeno z ogljenimi adsorberji.



Slika 14: Višinski profil koncentracije radona po dolini Todraž ice, merjeno z ogljenimi adsorberji

## III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

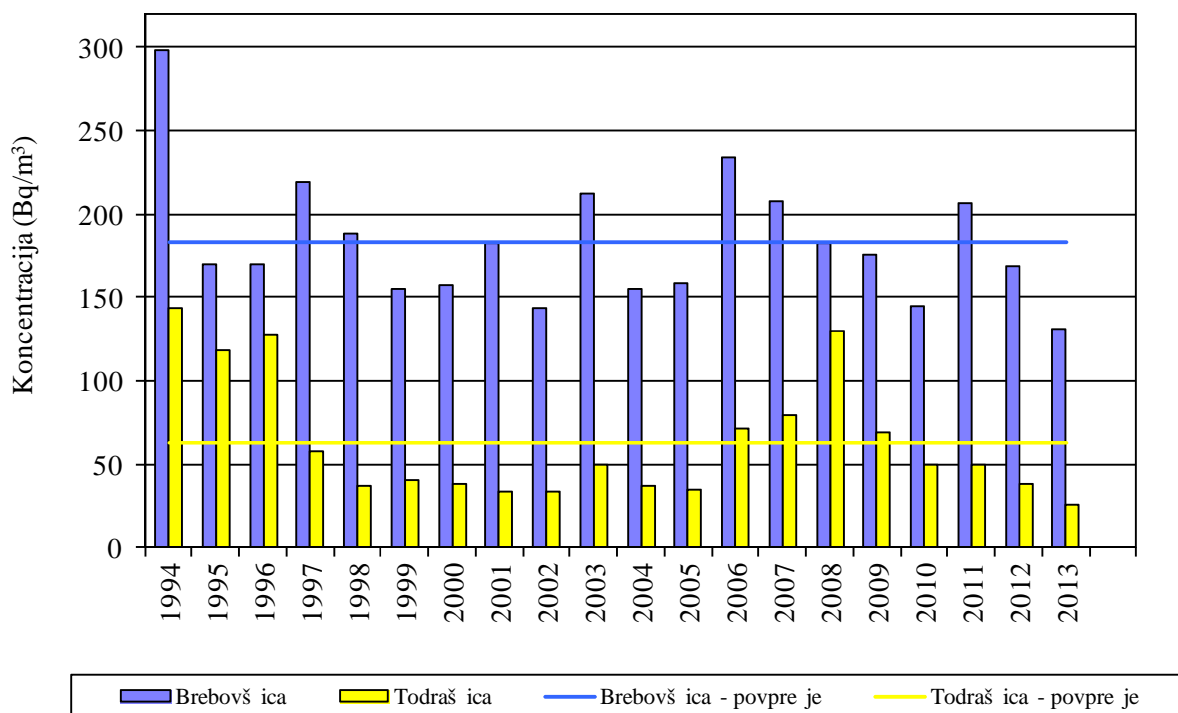
### III.2.1 Vodotoki

Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraš ica in Brebovš ica. Rezultati so podani v tabelah (Tabele V.2.1-V.2.4). V letu 2012 in 2013 so bile meritve kvartalne, medtem ko so bile v preteklosti mesečne. Meritve enkratnih vzorcev, ki so sicer bile v programu, RŽV d.o.o. v 2013 ni izvedel.

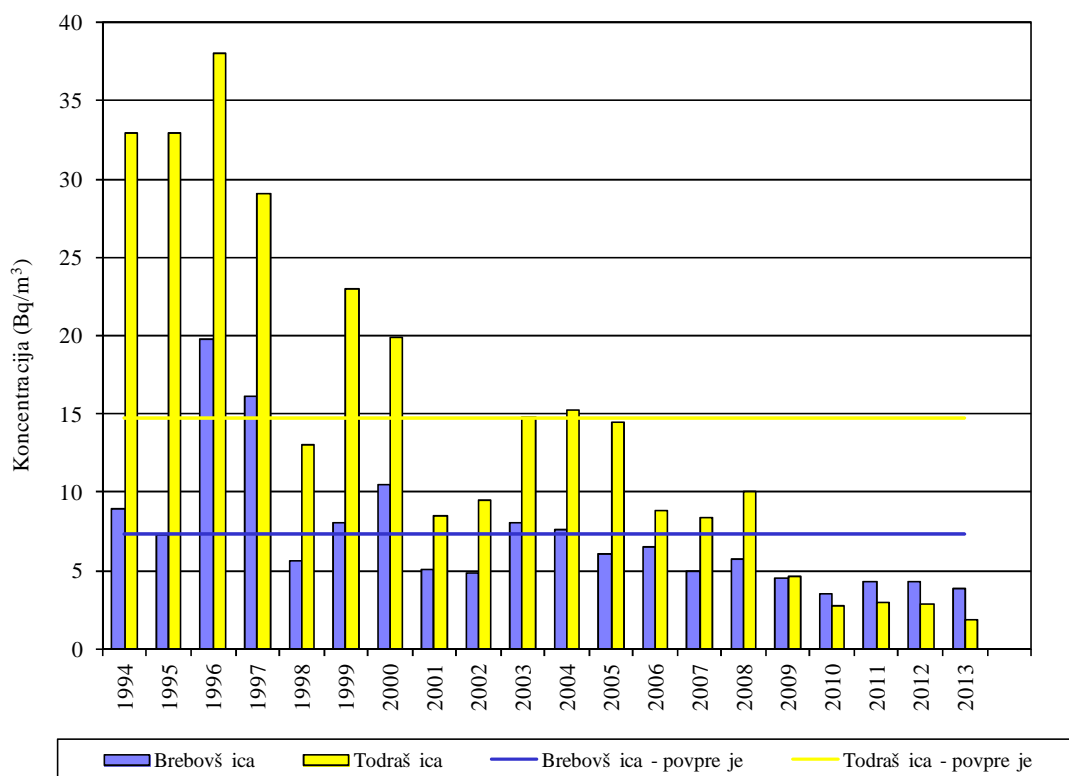
Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 15, Slika 16, Slika 17). 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-6).

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

	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

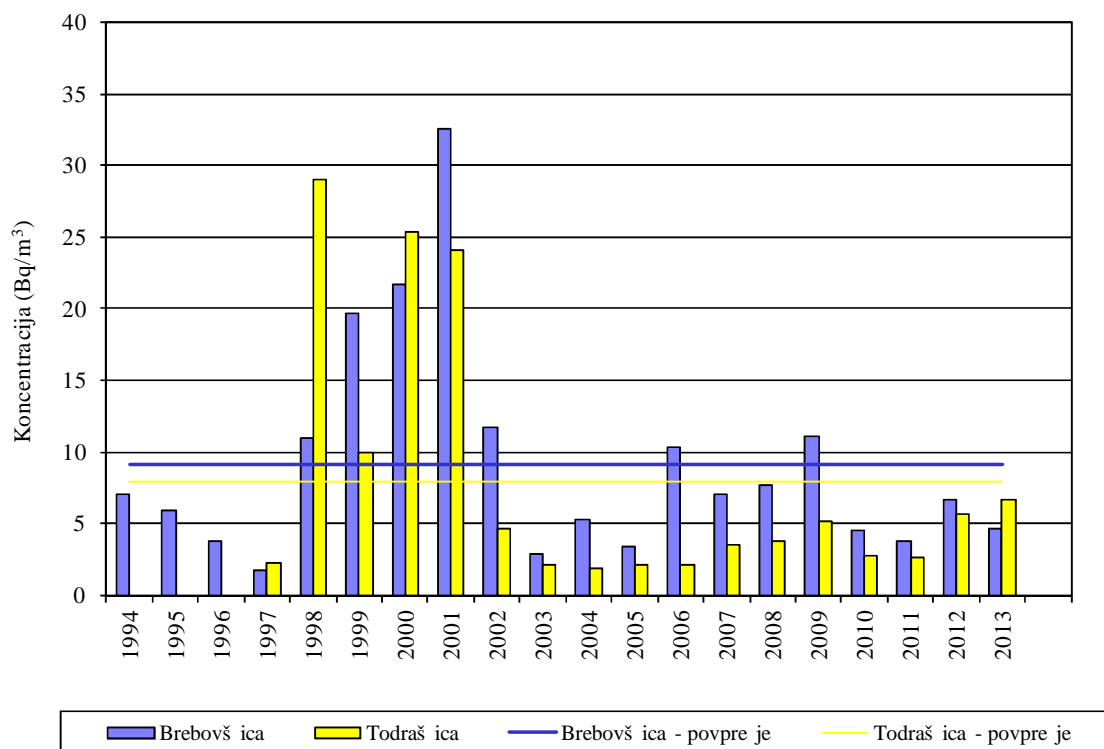


Slika 15: Povpre ne letne koncentracije U-238 v Brebovš ici in Todraš ici



Slika 16: Povpre ne letne koncentracije Ra-226 v Brebovš ici in Todraš ici





Slika 17: 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 dosejajo 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>) [4]. 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 in meteorne 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 (4,9 MBq in 5,8 MBq v 2013; 3,1 MBq in 3,4 MBq v 2012). Izpusti Ra-226 iz posameznega odlagališ a so približno desetkrat manjši kot iz jamske vode (33,7 MBq izpusti v jamsko vodo v 2013). 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). 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. V programu monitoringa za leto 2013 so bile meritve enkratnih vzorcev voda v Brebovš ici pred rudniškimi objekti, v Brebovš ici v Gorenji Dobravi, v Poljanski Sori pred vtokom Brebovš ica in v Poljanski Sori po vtoku Brebovš ica. Zaradi pomanjkanja finan nih sredstev so bile na lokacijah izvedene le analize

U-238 in Th-230 v Brebovš ici. Meritev koncentracije urana je smiselna, ker so meritve v zadnjih letih pokazale, da se pri uranu zazna prispevek emisij RŽV. Koncentracija urana je na lokaciji Sora PO približno sedemkrat nižja kot na lokaciji v Brebovš ici v Gorenji Dobravi ( $121 \text{ Bq/m}^3 : 17,5 \text{ Bq/m}^3$ ), kar je približno enako razmerju pretokov Brebovš ice in Poljanske Sore (1:9), in je torej pri akovana. Za ostale radionuklide Pb-210, Po-210 in Th-230 v zadnjem letu 2010, ko so se še izvajale meritve koncentracije v enkratnih vzrocih voda, zaradi nizkih koncentracij, pove anja v Sori po dotoku Brebovš ice ni bilo možno potrditi. Vrednosti se v okviru merske negotovosti niso razlikovale.

Glavni onesnaževalec z uranom je jamska voda, ki je v letu 2013 povzro ala 74 % (77% v 2012, 81% v 2011) vseh emisij urana, odlagališ e Jazbec je povzro alo 18% (17% v 2012, 12% v 2011) in odlagališ e Boršt 8% (6% v 2012, 7% v 2011) vseh emisij urana (Tabela III-7). Teko inske emisije  $\text{U}_3\text{O}_8$  iz odlagališ a Jazbec se zmanjšujejo že od leta 2004 in so bile v 2011 najmanjše v obdobju pa zaprtju rudnika. V 2013 so bile nekaj višje kot v 2011 ali 2012. Teko inske emisije so mo no odvisne od koli ine padavin. V letih, ko je ve padavin, je ve izpiranja in posledi no ve emisij urana in radija.

Teko inske emisije  $\text{U}_3\text{O}_8$  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-7: Letne teko inske emisije  $\text{U}_3\text{O}_8$  in Ra-226 iz Jamskega obrata, odlagališ a Jazbec in odlagališ a Boršt. Vir: letna poro ila Službe za varstvo pred sevanji RŽV**

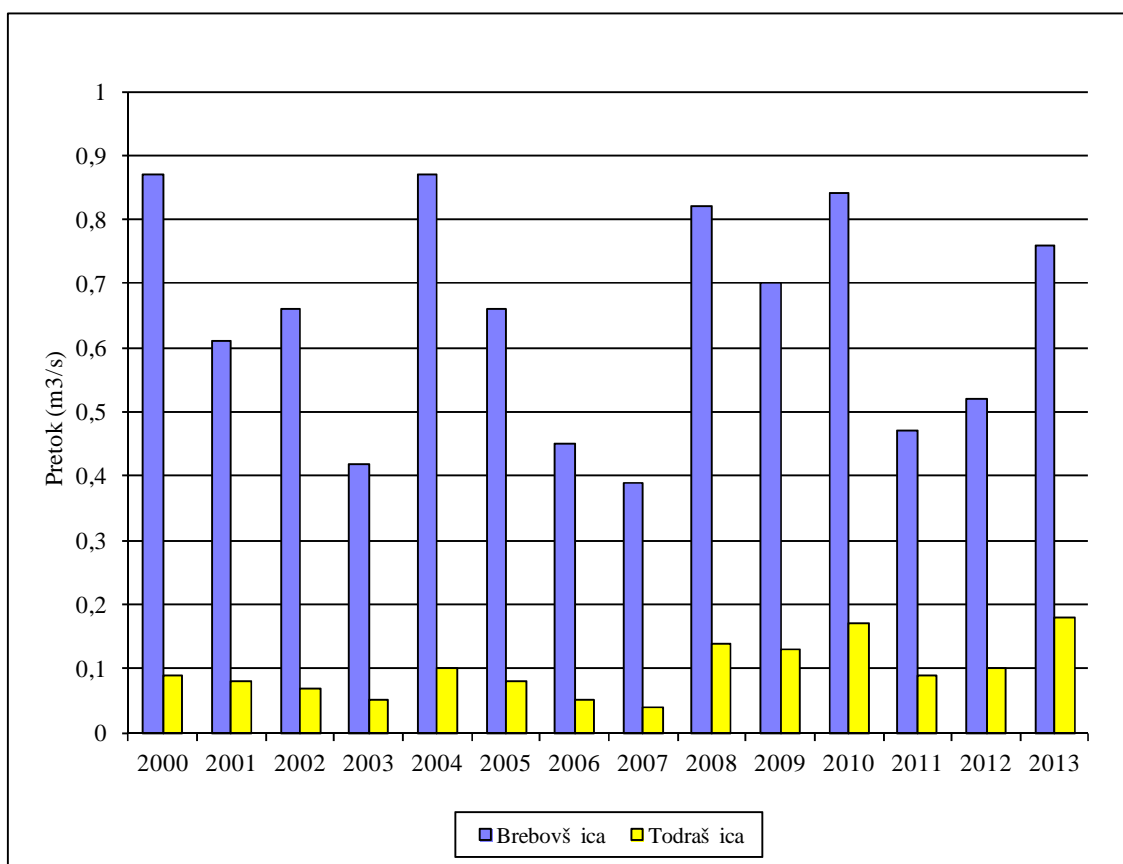
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Letne teko inske emisije <math>\text{U}_3\text{O}_8</math> (kg)</b>							
Jamski obrat	100	156	173	184	147	134	158
Jazbec	65	44	32	38	21,8	30	39
Boršt	21	77	43	29	12	10	17
<b>SKUPAJ</b>	<b>185</b>	<b>276</b>	<b>248</b>	<b>251</b>	<b>180,8</b>	<b>174</b>	<b>214</b>
<b>Letne teko inske emisije Ra-226 (MBq)</b>							
Jamski obrat	20	27	32	37,1	29	28	33,7
Jazbec	9,3	5	3	4,6	2,2	3,1	4,9
Boršt	11,9	35	13	12,5	3	3,4	5,8
<b>SKUPAJ</b>	<b>41,2</b>	<b>67</b>	<b>48</b>	<b>54,3</b>	<b>34,2</b>	<b>34,5</b>	<b>44,4</b>

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 15).

Na izmerjene koncentracije radionuklidov vplivajo tudi pretoki vodotokov (Slika 18). Majhna količina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, prav tako so lahko emisije nespremenjene. Tako so bile npr. letne mase emisije  $U_3O_8$  iz odlagališča a hidrometalurške jalovine Boršt v obdobju 2004 – 2007 približno enake, a so izmerjene koncentracije U-238 v sušnem letu 2006 in 2007 večje kot leta 2005 in tudi večje kot leta 2008, prav tako so bile emisije leta 2008 večje. V letu 2011 in 2012 so npr. emisije urana manjše kot v 2010, izmerjene vrednosti v Brebovšici in Todrašici pa višje, saj sta povprečna letna pretoka Brebovšice in Todrašice v 2010 višja. V letih 2011 in 2012 so emisije urana najnižje v zadnjih letih, a sta bila leta precej sušna in izrazitega padca v povprečnih koncentracijah urana in radija v Todrašici in Brebovšici ni opaziti. V 2013 pa so emisije urana in radija višje kot v 2012 ali 2011, prav tako so povprečne koncentracije obeh elementov v Brebovšici in Todrašici nižje kot v 2012 ali 2011. Prav tako je celotna masa izpranega urana in radija v letu 2013 višja kot v 2012, pa so koncentracije v Brebovšici in Todrašici, prav zaradi redčenja z večjimi količinami vode, nižje.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovšici in Todrašici se z leti zmanjšujejo 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 so na podobno nizki ravni od leta 2001 dalje in so 3 do 5 krat nižje kot pred letom 2001 (Slika 17).



---

**Slika 18: Povpre ni pretoki v Brebovš ica in Todraš ica**

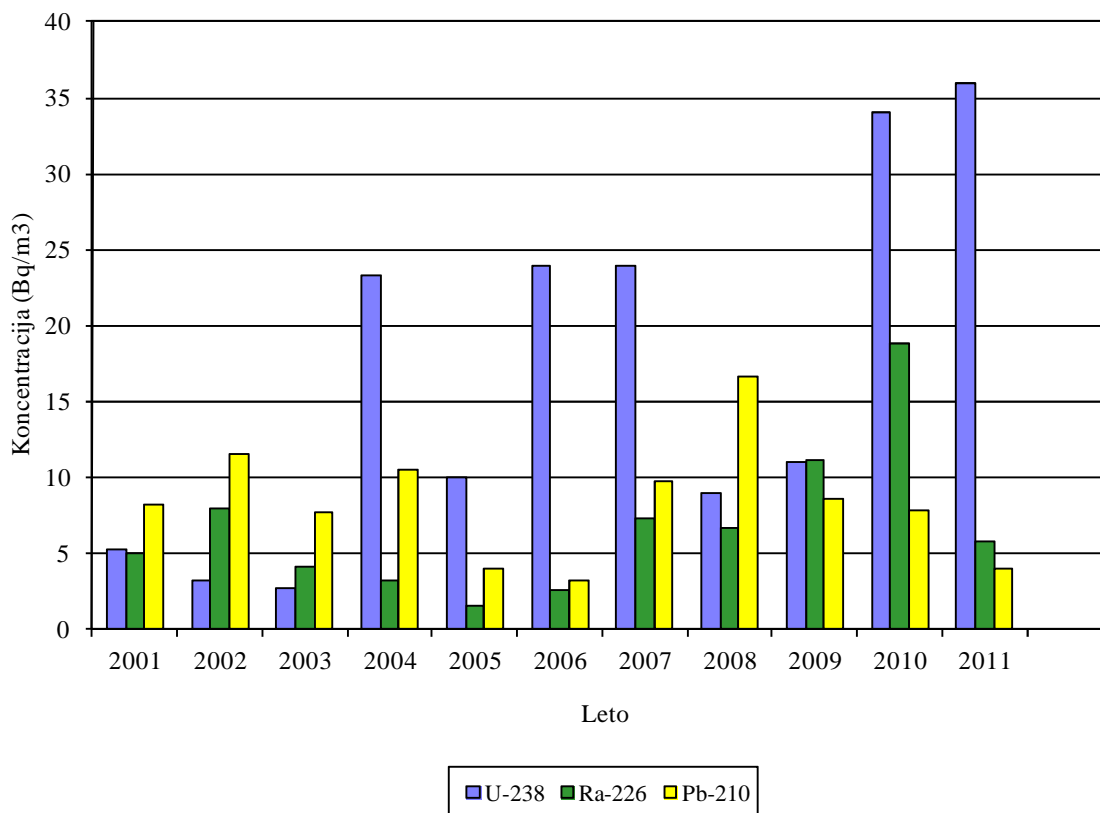
### **III.2.2 Podtalnica**

V programu nadzora so bile v letu 2013 tudi meritve radioaktivnosti podtalnice v okoliških vrtinah in vodnjakih. Merili smo koncentracije raztopljenega U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodi iz vrtine BS-30 (nahaja se v MP Todraž ob soto ju potokov Brebovš ica in Todraš ica) in izvira Mrzlek (nahaja se v Dolenji Dobravi), za katerega je bila z raziskavami ugotovljena povezava z vodami iz odlagališ a Jazbec. Vodnjak pri Drmoti iz katerega smo vzro ili v preteklih letih, je zaradi drenažnih del v bližini, presahnil.

Nadzor podtalnice v preteklih letih je pokazal, da so bile v vrtinah BS-30 in BS-27, v primerjavi z vodnjakom pri kmetiji Drmota, višje koncentracije Ra-226 in Pb-210. Izvir Mrzlek je imel višje koncentracije U-238 in Ra-226. Koncentracije U-238 so bile za velikostni red višje kot npr. v vodnjaku pri kmetiji Drmota. Dosedanji nadzor je pokazal, da je v vodi iz vodnjaka pri kmetiji Drmota manj U-238 kot v vodi iz vrtin.

V obdobju 2004 - 2007 so koncentracije U-238 v vodnjaku Drmota višje kot pred tem obdobjem (Slika 19), nato pa spet nižje. V 2010 je viden izrazit skok v koncentraciji U-238 in Ra-226. Domnevamo, da na koncentracijo U-238 in Ra-226 v vodnjaku mo no vplivajo vremenske razmere, predvsem sušna obdobja. V bolj suhih letih so koncentracije urana v vodnjaku višje.

Ker je glavni vir imisij odlagališ e Jazbec, smo v izcednih vodah iz odlagališ a Jazbec (voda iz propusta pod Jazbecom, pred to ko mešanja) merili koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210. Rezultati so podani v tabeli (Tabela V.2.5). Pri akovano so bile koncentracije vseh radionuklidov najve je prav v izcednih vodah iz odlagališ a Jazbec in so približno za velikostni red višje kot v vrtini BS-30 ali izvira Mrzlek. Primerjava za U-238 in Ra-226 velja za leto 2012, saj v letu 2013 ni bilo izvedenih meritev koncentracije U-238 in Ra-226 na lokaciji Jazbec.



Slika 19: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodnjaku na doma iji Drmota

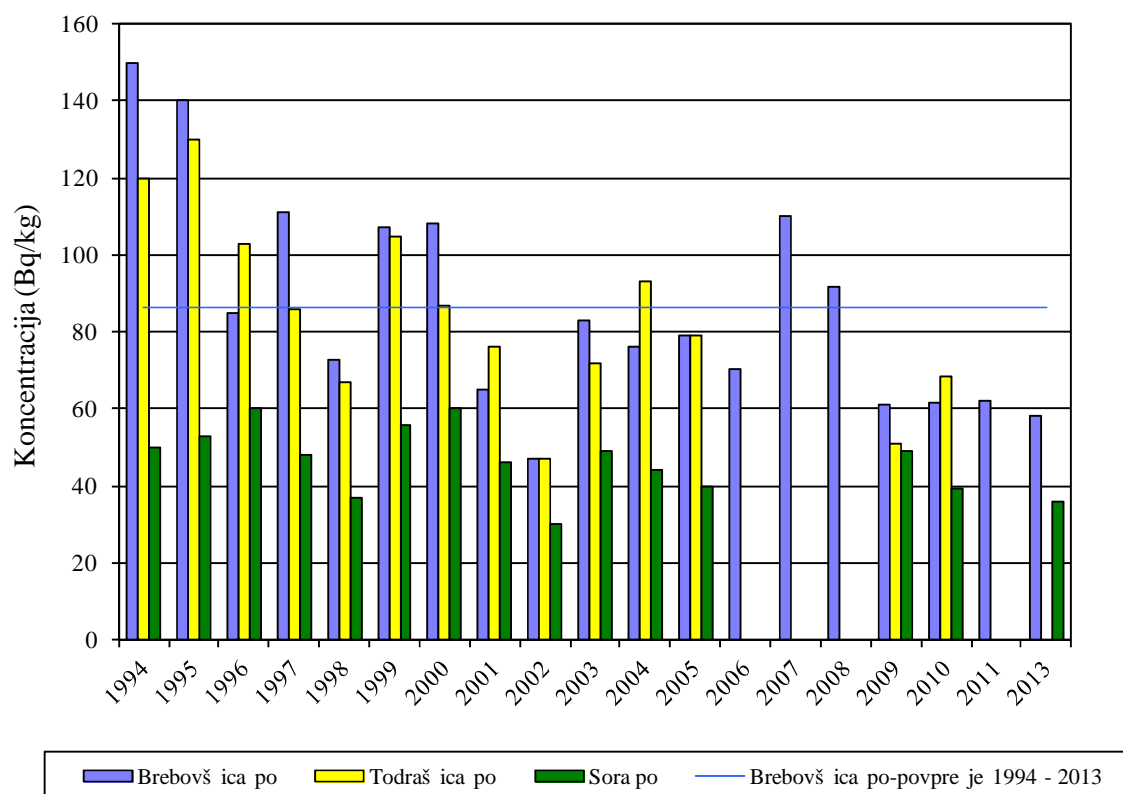
### III.3 SEDIMENTI

V tabeli (Tabela V.3.1 – V.3.3.) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v polletnih zbirnih vzorcih sedimentov v Brebovš iči PO (mesto vzor enja po vtoku Todraš ice v Brebovš ico, rudniške imisije) in Sori PO (mesto vzor enja po vtoku Brebovš ice v Soro) ter v enkratnih vzorcih iz voda iz kanala Jazbec (emisije odlagališ a Jazbec) za leto 2013.

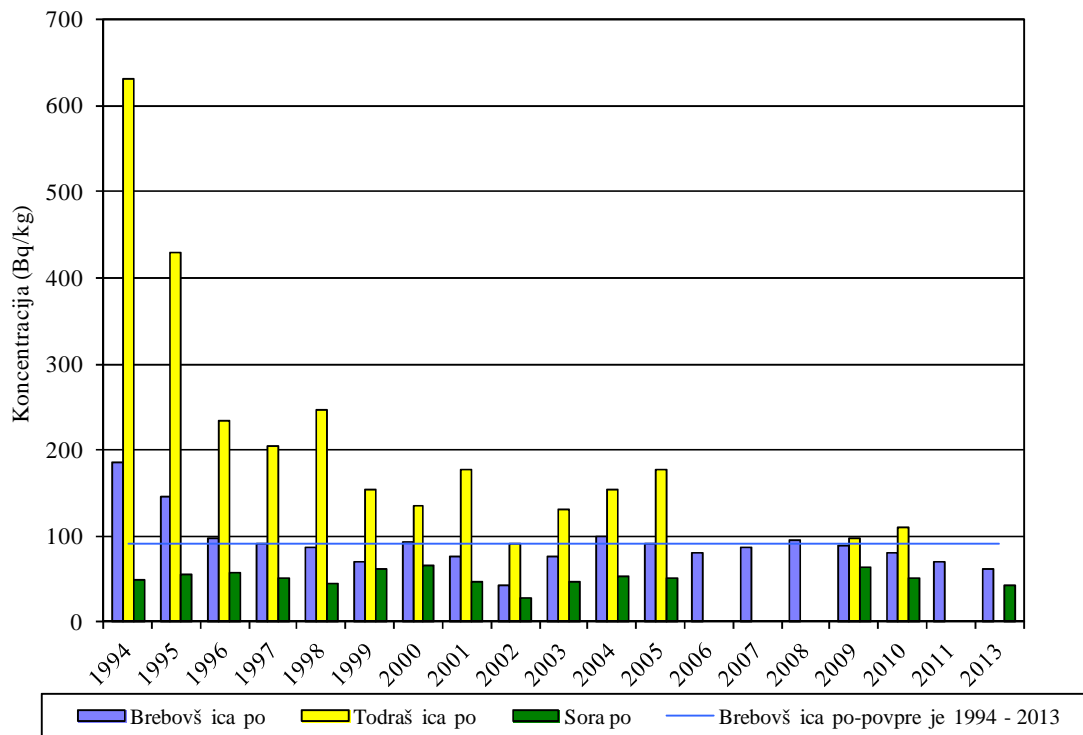
V tabeli (Tabela III-8) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 20, Slika 21 in Slika 22) so grafi ni prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

**Tabela III-8: 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**

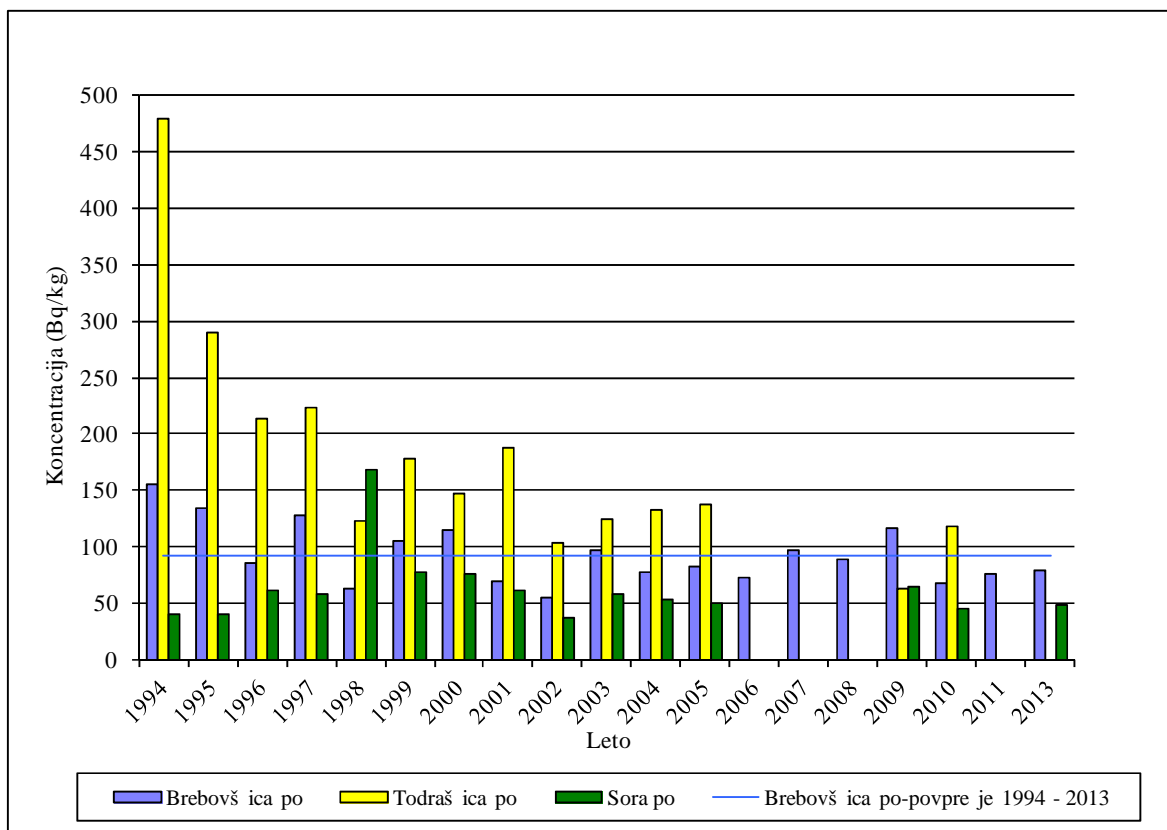
	U-238 (Bq/m <sup>3</sup> )	Ra-226 (Bq/m <sup>3</sup> )	Pb-210 (Bq/m <sup>3</sup> )
Brebovš ica po	200-250	250-300	200-300
Todraš ica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



**Slika 20: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV**



Slika 21: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV

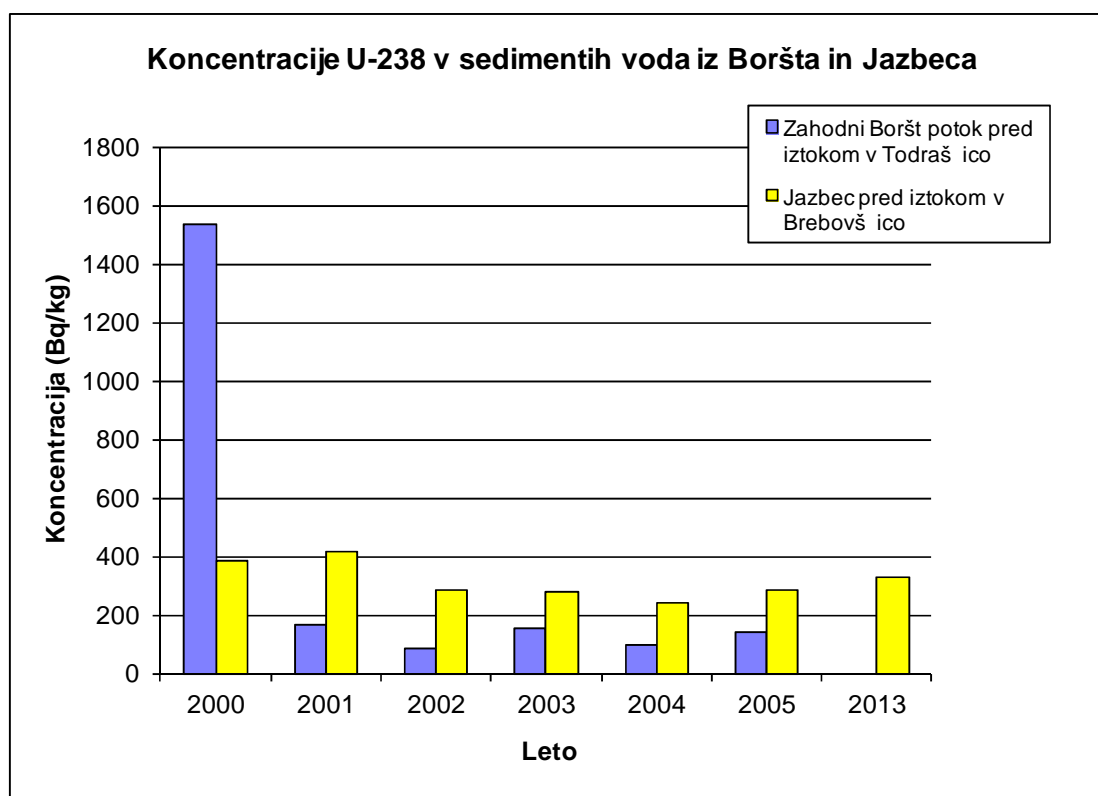


Slika 22: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovš ica so po 2009 nižje od povpre ja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so v letih 2007 in 2008 višje kot v 2001 – 2005, kar povezujemo 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.

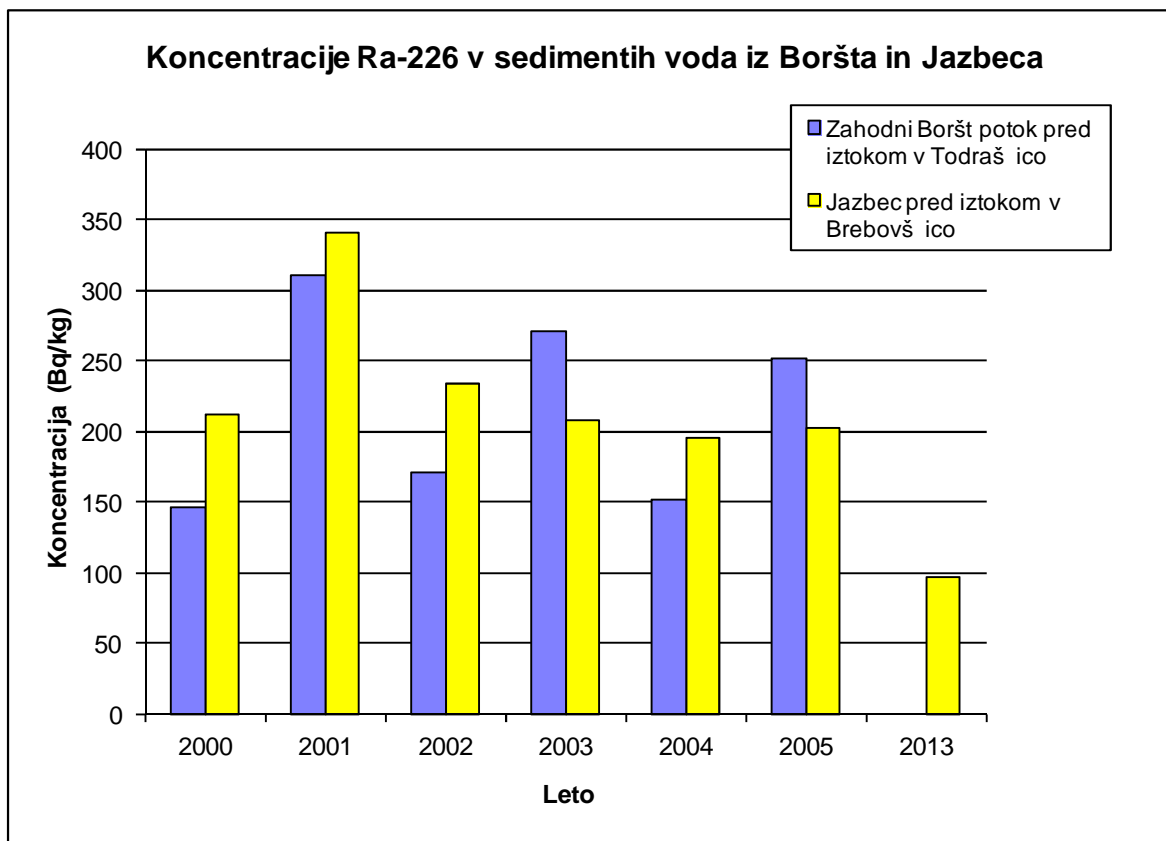
Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todraš ica v 2009 in 2010 so ob utno nižje kot v 2005, ko je izvajalec zadnji izvedel meritve. Zelo verjetno je to posledica zapiralnih del in zmanjšanja izpiranja delcev iz odlagališ a Boršt. Zanimivo je tudi, da v sedimentih iz Todraš ica koncentracije Pb-210 in Ra-226 niso ve je kot v sedimentih Brebovš ica, kar je bilo o itno pred letom 2005.

V letu 2013 je RŽV d.o.o. izvedel meritve koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih iz voda odlagališ a Jazbec (kanal Jazbec, po to ki mešanja). Izmerjene koncentracije so nizke. Za U-238 so podobne koncentracijam, ki so bile izmerjene v obdobju 2000 – 2005, medtem ko so pri Ra-226 nižje za faktor 2 (Slika 23, Slika 24). Ker gre za enkratne vzorce sedimentov je primerjava med leti težja, saj je koncentracija radionuklidov v vodi mo no odvisna od koli ine padavin in posledi nega izpiranja. Z nadzorom tako le ugotavljamo ali so emisije še vedno v okviru pri akovanih vrednosti ali pa je morda prišlo do sprememb, ki so pove ale emisije. Trenutno meritve dokazujejo, da so bila zapiralna dela na odlagališ u Jazbec uspešna.



Slika 23: Koncentracija U-238 v sedimentih voda odlagališ Boršt in Jazbec





Slika 24: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda odlagališ Boršt in Jazbec

### III.4 MLEKO

V letu 2013 je po letu 2011 RŽV izvedel meritve radioaktivnosti v vzorcih mleka iz okolice rudnika. Rezultati so v tabeli V.4.1. Glede na referenčno lokacijo lahko opazimo povečane vrednosti naravnih radionuklidov. Največja razlika med referenčno lokacijo in okolico RŽV je pri Pb-210. Koncentracija Pb-210 v mleku iz okolice Jazbeca je približno trikrat večja od koncentracije v mleku iz referenčne lokacije. Razlog je v tem, da je v okolici nekdanjega rudnika urna povečana 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 prehransko verigo krav.

Ker v letu 2013 ni bilo izvedenih meritev mleka iz referenčne lokacije v tabeli podajamo vrednosti iz leta 2011 (Tabela V.4.1).

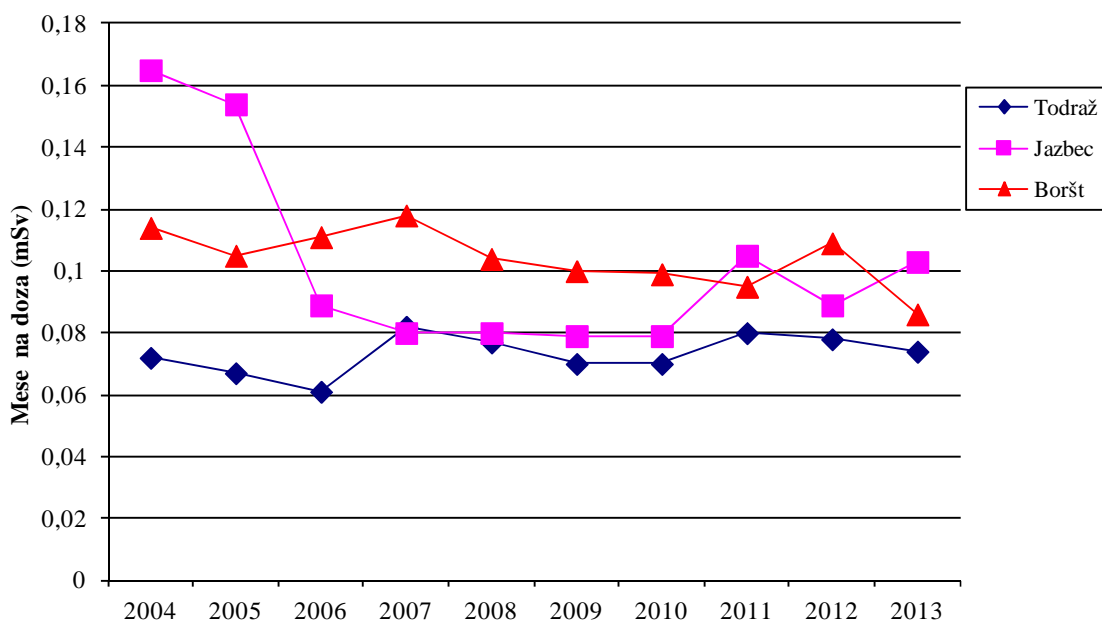
### III.5 RIBE

V letu 2013 so bile v programu radioaktivnosti v okolici nekdanjega Rudnika urana Žirovski

vrh tudi meritve rib iz potoka Brebovš ica, Poljanske Sore in Selške Sore. RŽV d.o.o. se je glede izlova rib povezal z ribiško družino Visoko. Ribiška družina je RŽV d.o.o. obvestila, da so v letu 2013 v spodnji del Brebovš ica, torej tudi na področje Dolenje Dobrave, vložili ribe iz zgornjega dela Brebovš ica, medtem ko so v zgornji del Brebovš ica vložili ribe iz ribogojnice. Zaradi takšnega pojasnila se RŽV d.o.o. ni odločil za vzorčenje in analize rib v 2013.

### III.6 ZUNANJE SEVANJE GAMA

Absorbirano dozo v zraku smo merili s termoluminiscentnimi dozimetri na treh lokacijah: na odlagališčih Jazbec in Boršt ter v Todražu. Rezultati so predstavljeni v tabeli (Tabela V.5.2). Do leta 2005 smo meritve mesečno izvajali na 9 lokacijah v okolici RŽV. Po letu 2005 so meritve kvartalne na treh lokacijah. Pregled povprečnih mesečnih doz izmerjenih s TL dozimetri je na sliki (Slika 25). Obsežna zapiralna dela, predvsem nanašanje prekrivke, so vplivala na zmanjšanje doze na odlagališču Jazbec. Tako je povprečna izmerjena mesečna doza na odlagališču Jazbec že skoraj enaka povprečni izmerjeni mesečni dozi v Todražu.



Slika 25: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

V splošnem velja [11], da k sevanju ozadja oziroma k zunanjemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in erobiljska kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred erobiljsko kontaminacijo [12] 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 erobiljska kontaminacija višja v zgornjih plasteh.

---

V letu 2013 smo okoli odlagališ a Jazbec merili hitrosti absorbirane doze v zraku (Tabela V.5.1). Na odlagališ u samem so bile najve je izmerjene hitrosti doz  $H^*(10)$  115 nSv/h, izven odlagališ a pa 150 nSv/h. Ve je izmerjene vrednosti izven odlagališ a so posledica geološke sestave tal oziroma pove anega naravnega ozadja. Vse hitrosti absorbirane doze v zraku znotraj odlagališ a Jazbec so pod avtorizirano mejno vrednostjo 200 nGy/h. Zaklju imo lahko, da odlagališ e Jazbec ne prispeva ve povišane doze gama sevanja v okolici.

Ker v 2013 meritev absorbirane doze v zraku na odlagališ u Boršt ni bilo v programu, v nadaljevanju podajamo rezultate iz leta 2011. Odlagališ e Boršt predstavlja najve ji vir sevanja gama v okolju RŽV. Izmerjene vrednosti hitrosti zunanje doze so na samem odlagališ u nižje kot v preteklih letih in se prakti no ne razlikujejo od naravnega ozadja. Na nekaterih lokacijah v okolici odlagališ a lahko izmerimo celo višje vrednosti hitrosti doz, kot na odlagališ u. Izmerjene vrednosti niso posledica vpliva odlagališ a ampak lokalnih geoloških posebnosti.

Kot ozadje hitrosti zunanje doze zunaj ograje odlagališ a Boršt smo vzeli hitrost okoliškega ekvivalenta doze 0,12-0,13  $\mu$ Sv/h. Meritve smo izvajali na to kah okoli odlagališ a in zajeli vsa mesta, kjer smo v preteklosti izmerili povišane vrednosti.

Na površini odlagališ a Boršt je hitrost doze 0,10-0,14  $\mu$ Sv/h, na nekaterih lokacijah v okolici odlagališ a je možno izmeriti tudi ve kot 0,2  $\mu$ Sv/h. Ocenjujemo, da te vrednosti niso posledica vpliva odlagališ a, ampak lokalnih geoloških posebnosti.

Prispevek rudnika k zunanjemu gama sevanju je majhen in ga ni mogo e neposredno izmeriti zaradi variacij naravnega ozadja. Prebivalci dobijo doze zunanjega sevanja gama zaradi depozicije radonovih potomcev v zraku ter vsebnosti radonovih potomcev v zraku.

---

## IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA

Izračun prejetih doz smo opravili za vse možne prenosne poti razširjanja radioaktivnih snovi v okolje. Upoštevali smo zunanje sevanje in notranje obsevanje zaradi vnosa radioaktivnih snovi. Doze smo izračunali za odraslega prebivalca za kritično skupino prebivalcev v okolici rudnika.

Pri izračunu smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje za ingestijo in inhalacijo po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4] in *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5]. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996, [15]), ki smo jih uporabljali v izračunih pred letom 2005.

Pri oceni efektivne ekvivalentne doze pri inhalaciji radonovih kratkoživih potomcev smo uporabili dozno konverzijo po *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5]. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5] ima osnovo v ICRP 65 [14].

V skladu z [5] smo izračunali doze za tri starostne skupine: odrasle, otroke stare 10 let (7-12 let) in dojenčke (otroci stari 1 leto). Do leta 2006 smo izračunane doze izvajali le za odraslega prebivalca iz okolice RŽV.

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

Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, za katere se meritve v letu 2013 niso izvajale, so se pri izračunu skupne izpostavljenosti privzele vrednosti iz leta 2005 ali 2011.

### IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI

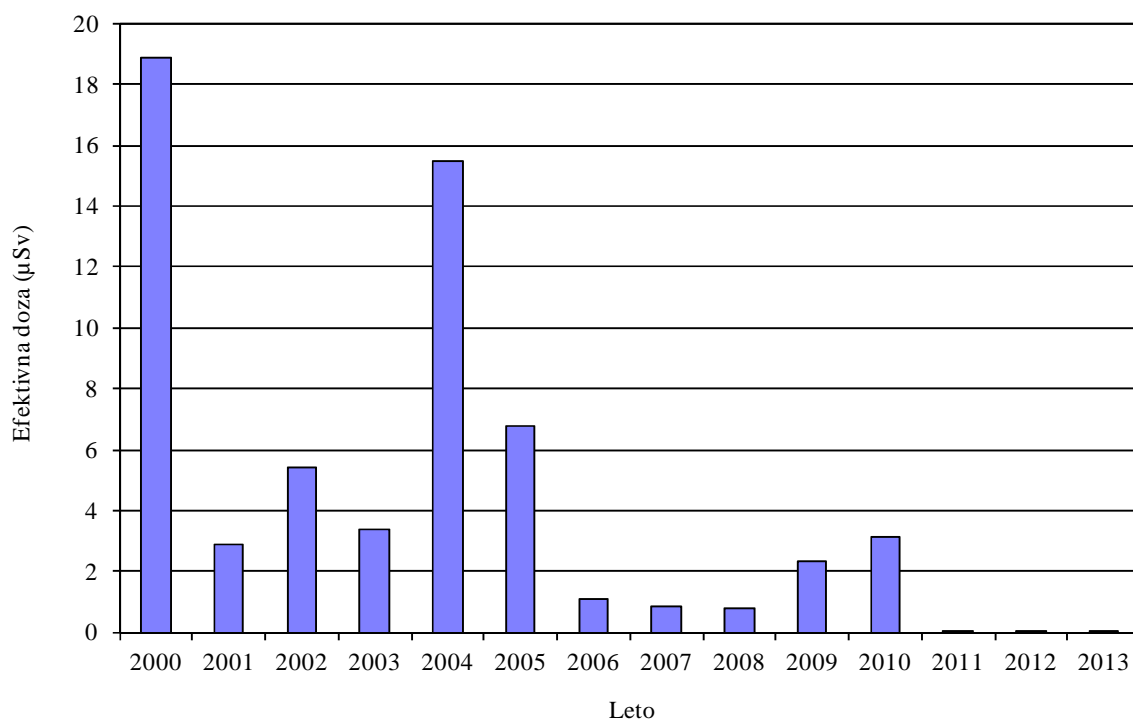
#### IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku

Letno efektivno dozo na posameznika v okolici RŽV zaradi dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste v zraku, smo v preteklosti ocenjevali iz meritev na več lokacijah v vplivnem območju rudnika. Upoštevali smo povprečno koncentracijo v bližnjem okolju rudnika (Gorenja Dobrava) in jo primerjali s povprečno koncentracijo v Debelem Brdu, kjer vpliva rudnika ni zaznati. Upoštevali smo le tase, ki ga posameznik preživi zunaj stavb. Tase zadrževanja otrok v stavbah, izven stavb ter v okolici vplivnega območja RŽV ali izven vplivnega območja RŽV (tase v šoli) smo privzeli po M. Križmanu [16]. Za hitrost dihanja smo privzeli vrednosti ICRP 71 [17].

Pri izračunu smo uporabili dozne pretvorbene faktorje po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4]. Upoštevali smo, da so U-238, Ra-226 in Pb-210 v ravnotežju s svojimi potomci.

V letu 2011 so se meritve koncentracije radionuklidov v zraku izvajale le na lokaciji Gorenja Dobrava, v letu 2012 in 2013 pa meritev ni več v programu nadzora radioaktivnosti v okolici RŽV. RŽV v 2012 in 2013 ni izvajal del, ki bi povzročala prašenje ali kakorkoli drugačnega povečevala koncentracijo dolgoživih naravnih radionuklidov v zraku. Zato ocenjujemo, da prebivalci niso prejeli dodatne učinkovite doze zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku, ki bi bila posledica rudnika.

Na sliki (Slika 26) podajamo dozno obremenitev prebivalstva zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku. Ocena doze zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov se po letih lahko zelo razlikuje med seboj. Koncentracije radionuklidov v zraku so namreč nizke, negotovost meritve temu ustrezno velika, kar se odraža na izračunani dozi.



Slika 26: Letne učinkovite doze v okolici RŽV zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku za odraslega prebivalca. Ocenjena letna učinkovita doza v 2013 je 0,00 µSv.

#### IV.1.2 Rn-222, inhalacija

Podobno kot inhalacija dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste, tudi inhalacija Rn-222 ne pomeni večjega prispevka k dozi. Izračun doze in konverzijski faktor smo privzeli po ICRP 65 [14]. Če je bil prebivalca v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [16]. Kot

---

osnovni merski podatek za izra un smo upoštevali povpre no vrednost dodatne koncentracije Rn-222 zaradi RŽV.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222 v letu 2013 je:

**E = 1,4 ± 0,5 μSv za odraslega prebivalca,**

**E = 0,9 ± 0,3 μSv za otroka starega 10 let,**

**E = 0,4 ± 0,1 μSv za otroka starega 1 leto.**

in je podobna dozi v preteklih letih.

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

Pri izra unu 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 asu, ko je lovek najbolj aktiven so koncentracije radona najnižje [18]. Koncentracija radona se sicer nenehno spreminja in najvišje vrednosti doseže v no nem asu. V stabilnih vremenskih razmerah je bila najvišja koncentracija na posameznih lokacijah tudi do 10 krat ve ja od najnižje, v vetrovnem in nestabilnem vremenu pa je bila ta razlika bistveno manjša. Primerjava izra unov z upoštevanjem dnevnega spreminjanja koncentracij ali izra unov 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 ionizirajo imi sevanji* [5].

Za povpre ni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na obmo ju Gorenje Dobrave smo privzeli vrednost 0,4 [4], 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 podro ju Gorenje Dobrave [18]. V Todražu in Dolenji Dobravi je nekaj odstotkov nižja. Vendar so te razlike sorazmerno majhne in vse prebivalce v dolini Brebovš ice, v skladu s priporo ili ICRP 43 [19] za homogenost referen ne skupine, obravnavamo kot eno referen no skupino.

Zaradi rudnika je bila koncentracija radona na prostem v letih 1993 – 2007 v povpre ju ve ja za okoli 7 Bq/m<sup>3</sup> (Slika 8). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med 6,2-9,3 Bq/m<sup>3</sup>.

V letu 2013 je koncentracija radona pove ana za 2,6 ± 0,9 Bq/m<sup>3</sup>. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2013:

**E = 55 ± 19 μSv za odraslega prebivalca,**

**E = 52 ± 18 μSv za otroka starega 10 let,**

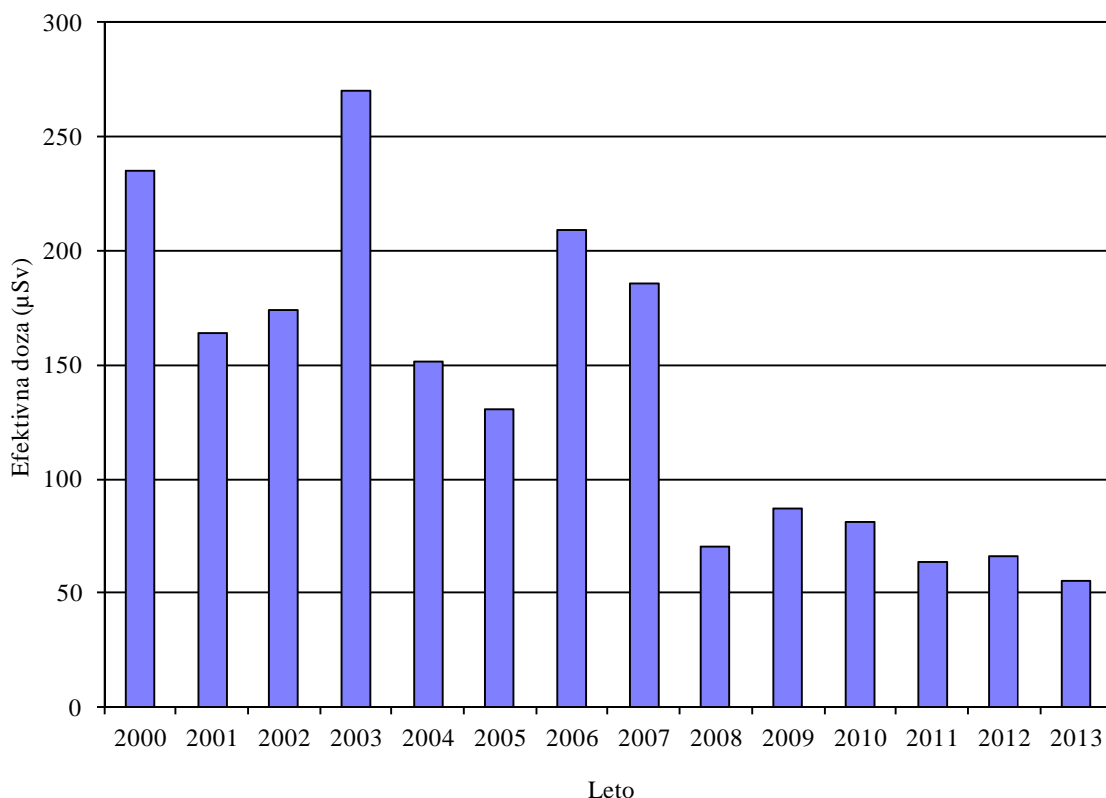
**E = 60 ± 21 μSv za otroka starega 1 leto.**

---

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2013 prejeli dozo  $65 \pm 22 \mu\text{Sv}$ . Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje, so manj obremenjeni in so prejeli dozo  $46 \pm 16 \mu\text{Sv}$ .

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za obdobje 2008-2013 so si podobne in bistveno nižje kot v preteklih letih. To je bilo znižanje v letu 2007 glede na leto 2006 posledica spremenjene metodologije izračuna doze (namesto metodologije iz ICRP 50 [14][13], metodologija iz Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji [5] 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 27), 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 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]. Ocenjeni prispevek rudniškega radona ni več tretina, pa tudi le še okoli 5%.



Slika 27: 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

Ker v letu 2013 v programu niso bile zajete meritve hrane (vzorcev po zagotovitvi RŽVd.o.o. zaradi sprememb v kmetijstvu ni več mogoče zagotoviti), za oceno doze v letu 2013 privzemamo podatke iz leta 2005, razen za mleko, kjer upoštevamo podatke iz leta 2013. Za mleko je namreč RŽV v letu 2013 izvedel analizo več vzorcev iz območja RŽV, ne pa iz referenčne lokacije. Pri oceni doze smo tako upoštevali podatke za referenčno lokacijo iz leta 2011. Analize je izvedel Institut Jožef Stefan z radiokemično separacijo in meritvijo na spektrometru alfa (Ra-226 in Po-210) ali proporcionalnem števcu (Pb-210). U-238 je bil določen z uporabo nevtronske aktivacijske analize. V tabeli (Tabela IV-1) podajamo vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka, ki so jih izmerili na IJS v letu 2013.



**Tabela IV-1: Povprečne vsebnosti U-238, Ra-226 in Pb-210 v mleku iz območja RŽV in referenčne lokacije.**

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

Pri količini zaužite hrane smo upoštevali študijo J. Rojca [20], M. Križmana [18] in ICRP 101 [21].

Efektivne doze (E) smo izračunali z uporabo konverzijskih faktorjev iz *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4]. Pri oceni smo upoštevali vsebnosti Ra-226 in Pb-210 v nekaterih tipih živilih, ki jih pridelujejo ljudje na območju vpliva rudnika. Ocena za predvideno efektivno dozo zaradi ingestije je skupaj s količino zaužitih živil podana v tabeli (Tabela IV-2).

Med koncentracijami Ra-226 in Pb-210 v živilih iz okolice RŽV in živilih iz referenčnih lokacij obstajajo določene razlike, vendar je prispevek k efektivni dozi težko oceniti zaradi nizkih koncentracij in velikega razširjanja rezultatov. Celotno pri istovrstnih vzorcih so lahko variacije večje od razlike koncentracij med vzorci vzetimi v okolici rudnika in tistimi, vzetimi na referenčnih lokacijah (IJS, poročila 1988-1990). Meritve so pokazale, da so vrednosti radionuklidov v vzorcih hrane, vzetih v okolici RŽV in na referenčni lokaciji pod mejo poročanja metode visokoločljivostne gama spektrometrije, ki je bila 0,1 Bq/kg, oziroma za nekatere vzorce 0,04 Bq/kg. V tem primeru smo v izračunu doze upoštevali, kot da je bila izmerjena specifična aktivnost 0,1 Bq/kg oziroma 0,04 Bq/kg. Če radionuklida v vzorcu nismo izmerili, smo privzeli kot da ga v vzorcu ni.

V izračunu smo upoštevali vzorce z najvišjimi izmerjenimi vrednostmi koncentracije radionuklidov. Običajno so te bile v vzorcih hrane iz kmetije Potokar.

Ocenjena efektivna doza je ob omenjenih problemih opremljena z veliko negotovostjo, zato podajamo ocenjeni prispevek k dozi zaradi ingestije hrane kot neenačbo:

$$\begin{aligned} E &< 30 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &< 80 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &< 60 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.} \end{aligned}$$

Pri otroku starem 1 leto smo privzeli, da uživa le mleko in sicer 273 L letno. Prav tako smo privzeli, da je vse mleko iz vplivnega področja RŽV, kar verjetno ni povsem realno.

Rezultati meritev mleka izvedenih v 2013 praktično ne vplivajo na oceno doze zaradi zauživanja hrane. Ocenjeni prispevek k dozi zaradi kontaminacije mleka je v letu 2013 enak oceni iz leta 2011 in 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 različne, vrednosti pa moramo jemati z veliko mero previdnosti.

**Tabela IV-2: Vsebnost Ra-226 in Pb-210 v živilih iz okolice RŽV in letna količina zaužite hrane (podatki o vsebnosti Ra-226 in Pb-210 so iz leta 2005, razen za mleko, kjer so podatki iz leta 2013)**

Vrsta hrane	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Količina (kg/leto) za odraslega prebivalca
mleko	0,009	0,105	122
jajca	0,55	0,8	8,4
meso	0,35	0,2	40
krompir	0,3	0,86	100
zelje	0,06	0,39	5
sadje	0,04	0,54	15

Ribe iz Brebovšice in Sore predstavljajo le manjši delež v prehrani ljudi. Ker v letu 2013 meritev v vzorcih rib ni bilo izvedenih, smo v oceni doz upoštevali podatke iz leta 2009. Iz izmerjenih vrednosti in razlike koncentracij U-238 in Ra-226 v mesu rib v Brebovšici po in Selški Sori smo izračunali dozo. Po ocenah iz prejšnjih poročil povzemamo, da naj bi bil povprečni ulov na prebivalca 5 kg rib na leto. Tudi to upoštevamo, da vsak posameznik zaužije vseh 5 kg, je ocenjena efektivna doza zaradi zauživanja rib le:

$$E_{(\text{ingestija ribe})} < 0,6 \mu\text{Sv}.$$

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

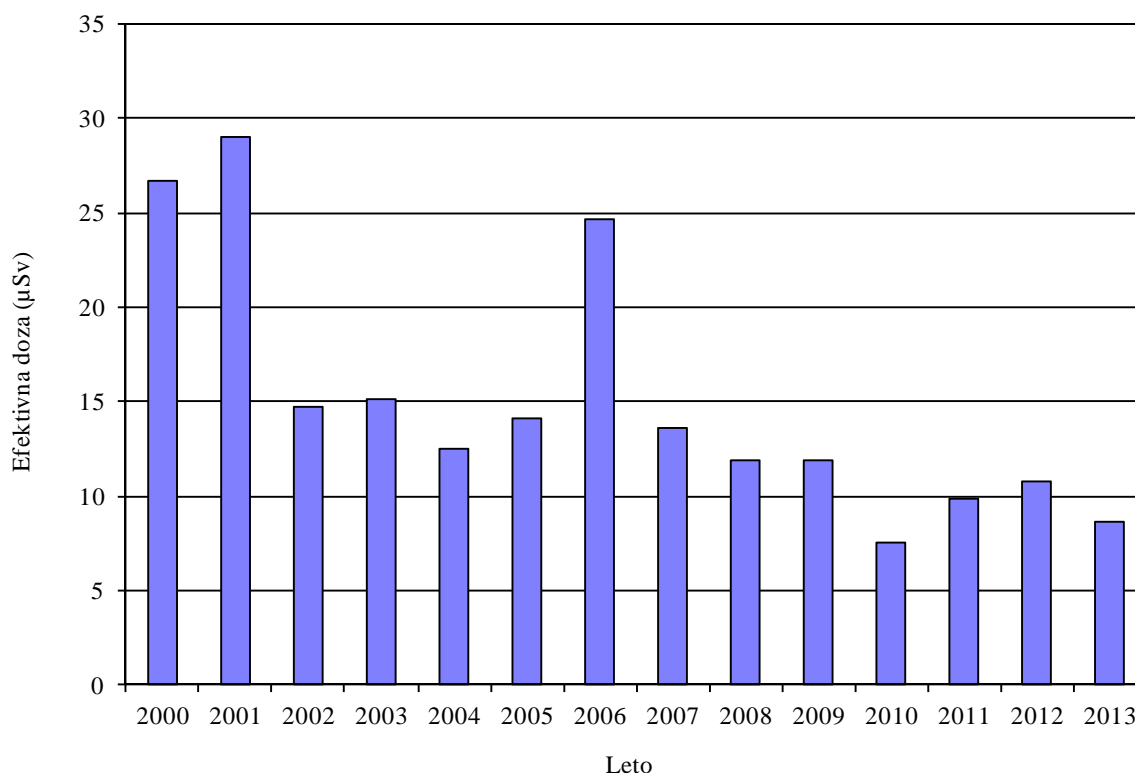
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovšice in znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 8,7 \pm 2,9 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 11,2 \pm 3,7 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 11,3 \pm 3,8 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

Izračunana letna efektivna doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 28). Za količine zaužite vode smo upoštevali [22].



Slika 28: Letne efektivne doze zaradi pitja vode (Brebovska črna voda) 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 2013 ni, tudi prispevek zunanjega sevanja zaradi talne depozicije aerosolov ocenjujemo na nič.

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

Pri izračunu smo uporabili pretvorbene faktorje za zračno imerzijo po UNSCEAR 2000 [22]. Za radon v hišah je pretvorbena faktor 0,01 nGyh<sup>-1</sup>/Bqm<sup>-3</sup>, na prostem pa 0,25 nGyh<sup>-1</sup>/Bqm<sup>-3</sup>.

---

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:

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

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

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

V okolici odlagališ nismo izmerili pove anih hitrosti doze. 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 izračunu smo upoštevali najbolj realne možnosti in končna doza je realna doza, ki bi jo lahko dobil posameznik zaradi RŽV. Ocena je narejena za povprečnega odraslega posameznika, za otroka starega 10 let in za otroka starega 1 leto iz referenčne skupine ljudi v dolini Brebovske. Posamezni prispevki k dozi po različnih prenosnih poteh so podani v tabeli (Tabela IV-3). Za prispevke prenosnih poti, ki niso bile upoštevane v programu meritev za leto 2013, smo uporabili podatke za leto 2005 in 2011 (mleko, referenčna lokacija).

**Tabela IV-3: Letna efektivna doza zaradi rudnika urana za prebivalce v okolici RŽV**

Prenosna pot	Pomembnejši radionuklidi	Letna efektivna doza ODRASLI ( $\mu\text{Sv}$ )	Letna efektivna doza OTROCI 10 let ( $\mu\text{Sv}$ )	Letna efektivna doza OTROCI 1 leto ( $\mu\text{Sv}$ )
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, hrana (Ra-226, Pb-210)	(8,7) <0,6 < 30	(11,2) <0,6 < 80	(11,3) - < 60
Zunanje sevanje	- sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija) - sevanje dolgoživih radionuklidov - sevanje v okolici odlagališč	1,0 - -	1,0 - -	1,0

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2013 je:

**88  $\mu\text{Sv}$  (0,088 mSv)** za odraslega prebivalca

**135  $\mu\text{Sv}$  (0,135 mSv)** za otroka starega 10 let

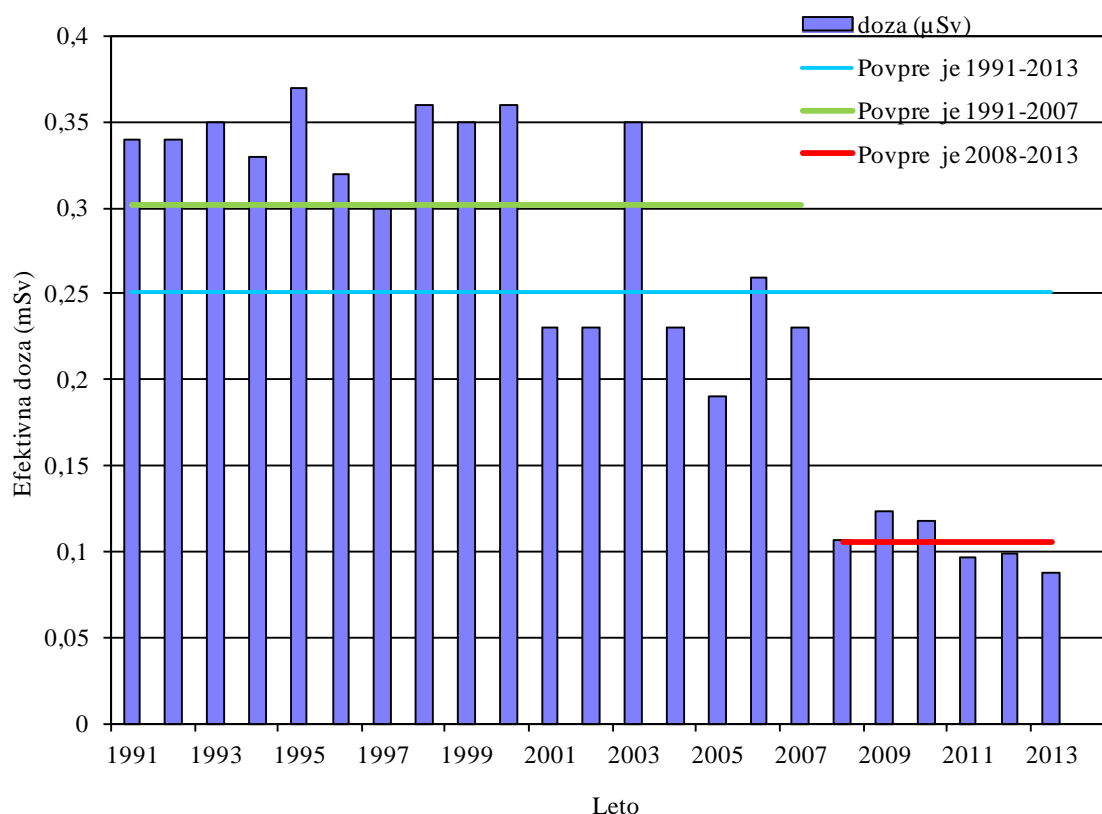
**121  $\mu\text{Sv}$  (0,121 mSv)** za otroka starega 1 leto

(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.

Letne efektivne doze odraslega prebivalca se gibljejo med 0,1 in 0,35 mSv (Slika 29). 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 [17]. V preteklosti 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 2010 smo spremenili metodologijo ocene prispevka rudnika k povečanju koncentracije radona, saj z merskimi metodami po izvedenih zapiralnih delih, prispevka ni bilo več mogoče oceniti.



Slika 29: 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 [23], 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 2013 je 0,088 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 2 %.

---

## V. 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 2013 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 i hidrometalurške jalovine Boršt in odlagališ e jamske izkopenine 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.

V letu 2013 so potekale meritve koncentracije radona na vseh rednih lokacijah (9 lokacij). Glede na vsa nihanja v koncentraciji radona po posameznih lokacijah v zadnjih letih, glede na to, da so zapiralna dela kon ana in ni bilo gradbenih posegov na odlagališ ih Jazbec in Boršt po letu 2009, lahko zaklju imo, da so variacije v koncentracijah radona po posameznih lokacijah posledica naravnega nihanja in ne posledica virov radona iz rudnika.

Zaradi zmanjševanja prispevka rudniškega radona k pove anim koncentracijam radona v okolici RŽV in slabše kakovosti meritev dosedanjega dobavitelja detektorjev sledi, metodologija za oceno doz, ki smo jo uporabljali do leta 2009, ne omogo a ve izra una dodatnega prispevka RŽV na osnovi primerjave izmerjenih vrednosti v Gorenji vasi in Gorenji Dobravi. RŽV je v 2010 naro il študijo [1], ki predlaga druga en na in ocenjevanja prispevka iz izmerjenih koncentracij na odlagališ u Jazbec v obdobju 1991-1995 ter izmerjenih koncentracij v teko em letu. Z uporabo takšne



---

metodologije je ocenjeni prispevek rudniškega radona v letu 2013  $2,6 \text{ Bq/m}^3$  in je podobno nizek kot v obdobju 2008-2012. K celotni koncentraciji radona prispeva 10-15 odstotkov, do leta 2008 pa smo ta prispevek cenili na  $\approx$  tretjino. V letih obratovanja rudnika se je povečanje koncentracije radona gibalo med  $6,2-9,3 \text{ Bq/m}^3$ .

Povprečne letne vrednosti koncentracij Rn-222 se v dolinah Brebovšice in Todrašice gibljejo med  $25-30 \text{ Bq/m}^3$ , v dolini reke Sore pa okoli  $20 \text{ Bq/m}^3$ .

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.

Koncentracije radona so povišane zlasti v dolinah Brebovšice in Todrašice. 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 [24]. Meritve v preteklih letih (2009-2010) so pokazale, da obstajajo lokacije z naravno povišanimi koncentracijami radona predvsem na površini severovzhodnega pobočja masiva Žirovskega vrha.

3. Tekoči 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 Boršt in odlagališča Jazbec po izvedenih zapiralnih delih prispevata približno enako, to je vsak okoli 10% vseh emisij urana.

Tudi z Ra-226 je glavni onesnaževalec jamska voda.

Koncentracije Ra-226 so sicer višje v Todrašici, vendar je pretok Todrašice 6-7 x manjši kot pretok Brebovšice. Skupna aktivnost je tako večja v Brebovšici. 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 Boršt, predvsem izvedba dodatnih drenažnih sistemov v odlagališču.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovšici in Todrašici se z leti zmanjšujejo in so bile v letu 2009 najnižje od zaprtja rudnika. Z izvedenimi zapiralnimi deli na

---

odlagališih Jazbec in Boršt, so se izpusti Ra-226 zmanjšali in ustalili.

Koncentracije Pb-210 so na podobno nizki ravni kot po letu 2001 in so 3 do 5 krat nižje kot pred letom 2001.

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 povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališih.

Meritev koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todrašice v obdobju 2011-2013 ni bilo. So pa koncentracije v 2009 in 2010 običajno nižje kot v 2005, ko je izvajalec zadnjič izvedel meritve. Zelo verjetno je to posledica zapiralnih del in zmanjšanja izpiranja delcev iz odlagališča Boršt. Zanimivo je tudi, da v sedimentih iz Todrašice koncentracije Pb-210 in Ra-226 niso večje kot v sedimentih Brebovšice, kar je bilo običajno pred letom 2005.

S Pb-210 in Ra-226 so bili pretekla leta najbolj kontaminirani sedimenti v Todrašici, urana pa je bilo več v Brebovšici.

5. Vsebnost Ra-226 in Pb-210 v ribah iz vodotokov, kamor se stekajo tekočine izpusti iz rudnika in odlagališča, je nizka, običajno 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 (0,4 %).
6. Pri kmetijskih pridelkih je morebitne vplive rudnika težje določiti. Nalogo še oteži uporaba mineralnih gnojil z vsebnostjo dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste. Do kontaminacije kmetijskih pridelkov pride predvsem po zraku in 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 običajno zmanjšala, kar ima za posledico manjšo površinsko kontaminacijo. Dejansko trdni delci pridejo v zrak le še z resuspenzijo. Ocenili smo, da je prispevek k celotni dozi zaradi uživanja hrane z vplivnega področja rudnika manjši od 0,030 mSv za odraslega prebivalca (31% celotne letne efektivne doze). Največjo dozo zaradi uživanja hrane so v 2013 prejeli otroci stari eno leto. Za njih smo upoštevali, da uživajo le mleko iz okolice RŽV. V letu 2012 je RŽV ponovno izvedel meritve vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka iz vplivnega območja RŽV. Ocenjena doza zaradi pitja mleka iz okolice RŽV je praktično enaka kot v letu 2011, ko so bile meritve mleka nazadnje izvedene in tako se tudi ocena doza zaradi zauživanja hrane iz okolice RŽV ni spremenila. Ker razen meritev mleka v 2013 nismo imeli na voljo meritev ostalih vzorcev hrane, smo v oceni doz uporabili podatke iz leta 2005, ko so bile meritve hrane nazadnje izvedene.

---

Prispevek ingestije k dozi je obremenjen z veliko negotovostjo meritve, saj so koncentracije radionuklidov v hrani blizu meje detekcije.

7. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v času obratovanja rudnika ta prispevek znašal le 0,01% skupne radioaktivnosti vorni plasti tal. Po letu 1990 se je prispevek useda znižal skoraj za cel velikostni razred in s tem tudi kontaminacija zemlje. S prekritjem obeh rudniških odlagališč ter zaprtjem jame je ostala kot vir radioaktivnih prašnih delcev samo resuspenzija.
  
8. Dodatno zunanje sevanje, ki izvira od virov RŽV je zelo majhno v primerjavi z naravnim ozadjem. Pripisemo ga lahko le imerziji zaradi radona, ne pa vplivu odlagališč. Po letu 2010 v okolici odlagališč Jazbec in Boršt nismo več izmerili povečane anega sevanja, ki bilo posledica sevanja odlagališč. Izmerjeni nivoji zunanjega sevanja na samih odlagališčih so bili na nivoju naravnega ozadja in izjema od avtorizirane mejne vrednosti za hitrost absorbirane doze v zraku (200 nGy(h)).

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 referenčne skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2013 ocenili na 0,088 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,135 mSv in za otroke stare 1 leto 0,121 mSv. Razviden je padec doze po letu 2000. 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.

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 (0,088 mSv) predstavlja približno deset odstotkov letne doze za prebivalstvo, ki jo določajo predpisi Republike Slovenije in mednarodna priporočila oz. 30% avtorizirane mejne vrednosti letne doze, ki znaša 0,3 mSv.

10. Celotno izpostavljenost naravnim virom sevanja za prebivalce v okolici rudnika so ocenili sodelavci IJS v študiji v letih 1987 - 1990 na 5,5 mSv letno. Pri tem ni upoštevana černobilska kontaminacija in medicinska uporaba sevanja. Ocenjena vrednost je znatno višja od svetovnega povprečja (2,4 mSv), kar uvršča to področje med kritičnejša v Sloveniji.

## VI. PREDLOGI

Zaradi lažjega spremljanja radioaktivnosti v okolici RŽV, razlage procesov razširjanja radioaktivnih snovi in ocen doze predlagamo izvedbo nekaterih študij oziroma meritev:

- *Zaradi takšnih ali druga nih razlogov precejšen del programa nadzora radioaktivnosti v okolici RŽV v letu 2013 ni bil izveden. To zelo otežuje oceno vplivov na okolje in oceno doz prebivalstva. Zato je v oceni vplivov in doz vedno ve privzetkov iz preteklosti, kar pa ni prava metodologija, saj se v okolju vseeno dogajajo spremembe. Menimo, da je potrebno celoten program nadzora radioaktivnosti izvesti v celoti.*
- *Predlagamo da se redno spremlja ekshalacijo radona iz odlagališ in potrjuje majhen vpliv na koncentracije radona v dolini Brebovš ice in Todraš ice. V 2012in 2013 je to izvajal RŽV sam, vendar menimo, da je smiselno, da meritve izvaja pooblaš ena in akreditirana organizacija, ki je podvržena mednarodnim presojam. 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, da se dolo en del meritev, npr. 1/4 izvede podvojeno s pooblaš enim izvajalcem meritev.*

---

## **VII. REZULTATI MERITEV**

## V.1. ZRAK

### MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2011

Tabela V.1.1. Koncentracija dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v aerosolih

Mesto vzor enja: Gorenja Dobrava (MP)

RADIONUKLID	1. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	2. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	3. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	4. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>
<sup>238</sup> U	0,004 ± 0,005	0,006 ± 0,005	0,013 ± 0,008	0,011 ± 0,003
<sup>226</sup> Ra	0,0028 ± 0,0005	0,0042 ± 0,0005	0,003 ± 0,0007	0,0030 ± 0,0004
<sup>210</sup> Pb	0,47 ± 0,06	0,30 ± 0,04	0,49 ± 0,05	0,81 ± 0,06

## V.1. ZRAK

### MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2011

Tabela V.1.2. Koncentracija dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v aerosolih na odlagališ iu

Boršt

Mesto vzor enja: Boršt (MP)

RADIONUKLID	1. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	2. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	3. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>	4. etrtletje mBq/m <sup>3</sup>
<sup>238</sup> U	0,013 ± 0,006	0,004 ± 0,003	0,036 ± 0,008	0,004 ± 0,003
<sup>226</sup> Ra	0,003 ± 0,001	0,0036 ± 0,0005	0,0110 ± 0,0009	0,0026 ± 0,0004
<sup>210</sup> Pb	0,78 ± 0,08	0,47 ± 0,05	0,67 ± 0,07	0,73 ± 0,06

*Opomba: Meritve radioaktivnosti aerosolov v 2013 niso bile v programu. Podajamo rezultate iz leta 2011.*

## V.1. ZRAK

Koncentracije Rn-222 v okolici Rudnika Žirovski vrh in na jaloviš ih

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

Merilno mesto	Koncentracija 1. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 2. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 3. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 4. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija letno povpre je Bq/m <sup>3</sup>
<b>DOLINA BREBOVŠ ICE</b>					
Brebovnica (Kova )	23 ± 5	18 ± 4	28 ± 5	28 ± 4	24 ± 4
Pod transportnim trakom	27 ± 5	28 ± 5	42 ± 6	34 ± 6	33 ± 6
Todraž	21 ± 5	15 ± 4	24 ± 5	28 ± 5	22 ± 5
Gorenja Dobrava	23 ± 5	13 ± 4	24 ± 5	23 ± 4	
Gorenja Dobrava	73 ± 10	15 ± 4	22 ± 5	4 ± 3	
Gorenja Dobrava	23 ± 5	16 ± 4	27 ± 5	22 ± 4	
Gorenja Dobrava povpre je	40 ± 7	15 ± 4	24 ± 5	16 ± 4	24 ± 5
Dolenja Dobrava	19 ± 4	13 ± 4	22 ± 4	18 ± 4	18 ± 4
Gorenja vas (MP, Brence)	23 ± 5	12 ± 4	13 ± 4	18 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence)	17 ± 4	12 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence)	34 ± 5	11 ± 4	17 ± 4	12 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence) povpre je	25 ± 5	12 ± 4	16 ± 4	16 ± 4	17 ± 4
Srednja vas adež	15 ± 4	12 ± 4	23 ± 5	17 ± 4	17 ± 4
ZVD- Ljubljana*	30 ± 5	11 ± 4	14 ± 3	14 ± 4	17 ± 4

### DOLINA TODRAŠ ICE

Ba enski mlin	26 ± 5	22 ± 5	16 ± 4	20 ± 4	21 ± 4
Debelo Brdo	12 ± 4	9 ± 4	6 ± 3	10 ± 4	9 ± 4

\* Primerjalna lokacija

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

JALOVIŠ I JAZBEC IN BORŠT

Jazbec , SV brežina odlagališ a, zgoraj	19 ± 4	11 ± 4	26 ± 5	28 ± 4	21 ± 4
MP Boršt	23 ± 5	17 ± 4	27 ± 5	25 ± 4	23 ± 4

Dodatne meritve na jaloviš ih Jazbec in Boršt, ki jih je RŽV izvedel poleg rednega programa

Merilno mesto	Koncentracija 1. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 2. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 3. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija 4. etrtletje Bq/m <sup>3</sup>	Koncentracija letno povpre je Bq/m <sup>3</sup>
SV rob odlagališ a	29 ± 5	24 ± 5	37 ± 5	39 ± 6	32 ± 6
JV rob odlagališ a	20 ± 5	12 ± 4	14 ± 4	22 ± 4	17 ± 4
Travnik pod doma ijo Podleš	28 ± 5	11 ± 4	19 ± 4	25 ± 4	21 ± 4
Doma ija Podlešan*	20 ± 4	10 ± 4	12 ± 4	14 ± 4	14 ± 4

Boršt, ovinek-most	20 ± 4	18 ± 4	27 ± 5	21 ± 4	21 ± 4
Boršt zgoraj	23 ± 5	10 ± 4	11 ± 3	16 ± 4	15 ± 4
Boršt etaža	62 ± 9	11 ± 4	14 ± 3	71 ± 10	39 ± 7
MP Boršt	23 ± 5	17 ± 4	27 ± 5	25 ± 4	
Kozolec Potokar	41 ± 6	14 ± 4	19 ± 4	21 ± 4	24 ± 5



---

## V.1 ZRAK

### Koncentracije radona v okolici Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi ter v Ljubljani Prerez v profilu doline Brebovske Leto: 2013

Tabela V.1.4. Koncentracije radona po dolini Brebovske - višinski prerez

Datum merjenja		15.03.-17.03
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m <sup>3</sup>
Brebovnica	446	18,9 ± 3,0
Pod transportnim trakom	422	29,2 ± 4,5
Todraž	411	19,2 ± 3,1
Gorenja Dobrava	405	20,0 ± 3,1
Dolenja Dobrava	403	16,2 ± 2,5
Gorenja vas	407	16,6 ± 2,6
Gorenja vas - Ferlan	401	17,6 ± 2,8
Srednja vas - adež	392	17,3 ± 2,7
ZVD - Ljubljana	300	20,6 ± 3,2

## V.1 ZRAK

**Koncentracije radona v okolici Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v  
Gorenji vasi ter v Ljubljani  
Prerez v profilu jalovišča Boršt in doline Todraške  
Leto: 2013**

**Tabela V.1.5. Koncentracije radona po dolini Todraške - višinski prerez**

Datum merjenja		15.03.-17.03
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m <sup>3</sup>
Debelo brdo	575	9,1 ± 1,4
Bačenski mlin	457	14,4 ± 2,3
Todraž	411	19,2 ± 3,1
Gorenja Dobrava	405	20,0 ± 3,1
Dolenja Dobrava	403	16,2 ± 2,5
Gorenja vas	407	16,6 ± 2,6
Srednja vas - Adež	392	17,3 ± 2,7
ZVD - Ljubljana	300	20,6 ± 3,2

*Opomba: Meritve koncentracije radona z detektorji na aktivno ogle so bile izvedene avgusta 2012 in marca 2013. Meritve sicer niso bile v programu, a jih je RŽV d.o.o. vseeno izvedel zaradi spremljanja koncentracije radona v odvisnosti od nadmorske višine oziroma inverzijske meje.*

## 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 2013**

	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	92,2 ± 4,0	1,14	20,4 ± 4,3	0,22
II. kvartal	78,7 ± 2,6	0,88	24,3 ± 0,9	0,17
III. kvartal	214 ± 4	0,19	34,4 ± 4,2	0,04
IV. kvartal	141 ± 5	0,83	25,2 ± 2,0	0,32
Povpre je	131 ± 4	0,76	26 ± 3	0,18

Meritve opravljene na IJS, Odsek za kemijo okolja, Laboratorij za radiokemijo

## 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 2013**

	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	3,0 ± 0,2	1,14	1,2 ± 0,2	0,22
II. kvartal	4,3 ± 0,3	0,88	1,9 ± 0,2	0,17
III. kvartal	5,4 ± 0,4	0,19	3,0 ± 0,3	0,04
IV. kvartal	2,7 ± 0,2	0,83	1,4 ± 0,2	0,32
Povpre je	3,9 ± 0,3	0,76	1,9 ± 0,2	0,18

Meritve opravljene na IJS, Odsek za kemijo okolja, Laboratorij za radiokemijo

## 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 2013**

	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	5,8 ± 0,4	1,14	12,7 ± 1,2	0,22
II. kvartal	4,7 ± 0,6	0,88	6,2 ± 0,6	0,17
III. kvartal	3,9 ± 0,8	0,19	4,2 ± 0,8	0,04
IV. kvartal	3,9 ± 1,4	0,83	3,4 ± 0,8	0,32
Povpre je	4,6 ± 0,9	0,76	6,6 ± 0,9	0,18

Meritve opravljene na IJS, Odsek za kemijo okolja, Laboratorij za radiokemijo

## V.2 VODA

**Tabela V.2.4: Koncentracija raztopljenega Po-210 v Brebovš ica v Gorenji Dobravi (Brebovš ica po) ter povpre ni etrtletni pretok Brebovš ica in Todraš ica v letu 2013**

	BREBOV 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	3,9 ± 0,5	1,14	8,6 ± 0,7	0,22
II. kvartal	6,2 ± 0,4	0,88	4,8 ± 0,3	0,17
III. kvartal	2,5 ± 0,2	0,19	3,3 ± 0,2	0,04
IV. kvartal	7,7 ± 0,6	0,83	3,4 ± 0,2	0,32
Povpre je	5,1 ± 0,5	0,76	5,0 ± 0,4	0,18

## V.2 VODA

Tabela V.2.5: Koncentracija raztopljenih U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 in Th-230 v enkratnih vzorcih vod v letu 2013

Datum odvzema vzorca: 12.12.2013

Merilno mesto	U-238	Th-230
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
	<i>Raztopljen</i>	<i>Raztopljen</i>
Brebovš ica pred	3,2 ± 0,2	
Brebovš ica, Gorenja Dobrava	121 ± 4	0,48 ± 0,05
Sora pred, most Gorenja vas	6,0 ± 0,3	
Sora po, Žabja vas	17,5 ± 0,8	

Meritve opravljene na IJS, Odsek za kemijo okolja, Laboratorij za radiokemijo

## V.2 VODA

### Meritve radioaktivnosti podtalnice v okolju RŽV

Tabela V.2.5 Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vrtinah na lokaciji RŽV in v okoliških vodnjakih v letu 2013

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	4,5 ± 0,2	7,8 ± 0,4	4,7 ± 0,8
Mrzlek, Dolenja Dobrava	194 ± 6	7,8 ± 0,4	4,7 ± 0,
Jazbec	U-238 (Bq/m <sup>3</sup> )	Ra-226 (Bq/m <sup>3</sup> )	Pb-210 (Bq/m <sup>3</sup> )
			4,2 ± 0,8
Jazbec	Po-210 (Bq/m <sup>3</sup> )	Th-230 (Bq/m <sup>3</sup> )	
	1,7 ± 0,3	0,39 ± 0,04	

Meritve opravljene na IJS, Odsek za kemijo okolja, Laboratorij za radiokemijo

### 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 2013**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

IZOTOP	1. polletje			2. polletje		
	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	53	±	5	63	±	5
Ra-226	60	±	4	64	±	4
Pb-210	79	±	5	79	±	20
Th-230	29	±	20	49	±	40

Lokacija: Sora po

**Tabela V.3.2: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v  
sedimentih Sore po vletu 2013**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

IZOTOP	1. polletje			2. polletje		
	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	34	±	3	38	±	3
Ra-226	44	±	3	43	±	3
Pb-210	42	±	3	48	±	3
Th-230	24	±	10	18	±	10

---

### V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Jazbec

**Tabela V.3.3: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v  
sedimentih (enkratni vzorci) vode iz Jazbeca**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

IZOTOP	Datum vzor enja: 5.6.2013			Datum vzor enja: 3.10.2013		
	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	190	±	10	470	±	20
Ra-226	72	±	6	120	±	10
Pb-210	280	±	10	730	±	40
Th-230	39	±	2	<		70

#### V.4 HRANA - PRIDELKI, KRMA

**Tabela V.4.1:** Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210 v mleku na lokacijah Žirovski vrh (okolica Jazbeca) in Gorenja Dobrava

Rezultati so podani v Bq/kg sveže mase

Oznaka vzor evalnega mesta	Koncentracija			
	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Po-210 (Bq/kg)
Žirovski vrh (okolica Jazbeca)	0.00030 ± 0.00004	0.007 ± 0.001	0.091 ± 0.032	0.063 ± 0.005
Gorenja Dobrava	0.00017 ± 0.00003	0.009 ± 0.002	0.105 ± 0.040	0.095 ± 0.008
Referen no mesto*	0,0024 ± 0,0003	0,0074 ± 0,0008	0,028 ± 0,014	

\* rezultati meritev iz leta 2011

#### V.4. BIOINDIKATORJI

**Tabela V.4.2.:** Vsebnost U-238, Ra-226 in Pb-210 v vzorcih lišajev in mahov s podro ja RŽV v letu 2013

Lokacija (lišaj)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Jazbec, lišaj	18,7 ± 7,8	17,2 ± 1,4	1070 ± 74

Lokacija (trava)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Odlagališ e Jazbec	8,5 ± 1,6	1,9 ± 0,1	66 ± 5
Gorenja Dobrava	4,2 ± 1,5	1,0 ± 0,2	33 ± 3



#### **V.4. VODNA BIOTA - RIBE**

Meritve v 2013 niso bile izvedene

Tabela V.5.1 Hitrosti doz na odlagališč u Jazbec (nSv/h), 27.11.2013, Merilnik Automes AD6150b, S.N.



*Meritve hitrosti doz v 2012 niso bile  
v programu. Podajamo rezultate iz  
leta 2011*

## V.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

**Tabela V.5.2 Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV**

Rezultati so podani v mSv

	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	Letna doza
Todraž	0,212	0,215	0,233	0,229	0,888
Jazbec	0,283	0,303	0,338	0,317	1,239
Boršt	0,237	0,250	0,275	0,270	1,032

---

## 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, 2010
- [3] Regulatory Guide 4.14, "Radiological Effluent and Environmental Monitoring at Uranium Mills," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1980
- [4] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in interevencijskih nivojih, Ur. L. RS št. 49/2004.
- [5] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajo imi sevanji, Uradni list RS, 115/2003.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Eichrom Technologies. Analytical Procedures, Thorium in Water. ACW10, Rev. 1.0
- [10] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poro ila IJS 1990-1995.
- [11] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [12] Poro ila o monitoringu radioaktivnosti v življenskem okolju RS, 1964-2006, ZVD
- [13] Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
- [14] Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, 1993, Pergamon Press, New York.
- [15] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
- [16] M.J. Križman, Metodologija za ocenjevanje doz sevanja za referen ne skupine prebivalstva na obmo ju RŽV, RŽV, 2008.
- [17] 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.
- [18] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1990.
- [19] Principles of Monitoring for the Radiation Protection od Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [20] J. Rojc, Prehrambene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
- [21] Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection, ICRP Publication 101, Elsevier, 2006
- [22] 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.
- [23] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1989.
- [24] M. Križman, Radon in njegovi kratkoživi potomci v okolju kot posledica rudarjenja urana na Žirovskem vrhu, doktorska disertacija, Ljubljana, 1999
- [25] G. Omahen, B. Smodiš, M. Štrok, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriš anja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2007