



ZVD ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU d.d.
Institute of Occupational Safety

Center za fizikalne meritve

Št.: LMSAR-39/2012-GO

Datum: 16.03.2012

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA
ŽIROVSKI VRH MED IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE
ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT
TER
OCENA IZPOSTAVLJENOSTI PREBIVALCEV V VPLIVNEM
OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH
POROČILO ZA LETO 2011**



Ljubljana, marec 2012

Avtor: Gregor Omahen

Naročnik: RUDNIK ŽIROVSKI VRH, p.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 št.: CFM/LMSAR-256/2010 (RŽV 03/120/2011)

Nosilec naloge: dr. Gregor Omahen

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urna Žirovski vrh med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt ter ocena izpostavljenosti prebivalcev v vplivnem okolju Rudnika urana Žirovski vrh, poročilo za leto 2011

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«: doc. dr. Borut Smodiš, doc. dr. Ljudmila Benedik, Marko Štok, univ.dipl.inž.kem.tehnol., dr. Benjamin Zorko, dr. Marijan Nečemer, 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 POROČILA:

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

Avtorji

dr. Gregor Omahen

KLJUČNE BESEDE:

Rudnik urana, radioaktivnost v okolju, dolgoživi radionuklidi, kemijski onesnaževalci, emisije, imisije, razpadni produkti, ocena izpostavljenosti za prebivalstvo.

POVZETEK:

Meritve radioaktivnosti v okolju nekdanjega Rudnika urana Žirovski vrh v letu 2011 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,097 mSv, za otroka starega 10 let 0,144 mSv in za otroka starega 1 leto 0,130 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 2010 was about 0,097 mSv, for 10 years old child 0,144 mSv and for 1 year old child 0,130 mSv. This represents approximately one tenth of recommended dose limit for public exposure.

KAZALO

UVOD	6
I. METODE MERJENJA	8
I.1 ZRAK	8
I.2 VODE	9
I.3 SEDIMENTI	10
I.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA	10
I.5 RIBE	11
I.6 MLEKO	11
II. POGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUŽV PO ZAKLJUČKU KONČNE UREĐITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2011	12
III. OVREDNOTENJE REZULTATOV	18
III.1 ZRAK	18
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210	18
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju	22
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov	31
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA	35
III.2.1 Vodotoki	35
III.2.2 Podtalnica	39
III.3 SEDIMENTI	40
III.4 MLEKO	43
III.5 ZUNANJE SEVANJE GAMA	43
III.4.1 Zunanje sevanje v okolici odlagališča HMJ na Borštu	44
IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA	46
IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	46
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku	46
IV.1.2 Rn-222, inhalacija	47
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	48
IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI	50
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana	50
IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda	52
IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA	53
IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi	53
IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci	53
IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč	54
IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV	55
IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV	56
V. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE	58
VI. PREDLOGI	62
VII. REZULTATI MERITEV	63

UVOD

Sistematski in celovit nadzor nad radioaktivnostjo v okolici rudnika urana Žirovski vrh poteka redno in neprekinjeno od decembra 1984, ko so v rudniku pričeli s poskusno proizvodnjo uranovega tehničnega koncentrata. Z rudarjenjem so prenehali julija 1990. Proizvodnja uranovega tehničnega koncentrata je bila z odločbo Ministrstva za energetiko ustavljena, 24. julija 1992 pa je parlament sprejel zakon o trajnem prenehanju izkoriščanja uranove rude.

V času obratovanja rudnika urana od 1985 do 1990 je program upošteval osnovne značilnosti obratovanja rudnika urana in njegovega okolja. Pri nadzoru so bile upoštevane lokacije in značilnosti emisijskih virov in specifičnosti življenjskega okolja.

Program nadzora med obratovanjem je temeljil na izhodiščih, navedenih v ameriških navodilih U.S. NRC Regulatory Guide 4.14 (1980) [1] in ga je potrdila tudi Strokovna komisija za jedrsko varnost. V programu so bile upoštevane vse možne prenosne poti razširjanja radioaktivnih snovi v okolje. Upoštevani so bili vsi možni mediji: zrak (aerosoli, radon in njegovi kratkoživi potomci), voda (površinske vode in podtalnice), vodna biota (ribe), sedimenti, kmetijski pridelki in krma (seno) ter zemlja.

Prenehanje obratovanja rudnika v letu 1990 je zahtevalo določene spremembe v samem programu nadzora. Opuščene so bile trenutne meritve koncentracij radona v zraku v okolici rudnika, meritve specifičnih aktivnosti dolgoživih radionuklidov v bioindikatorjih (lišajih) in v Brebovščici pred izpusti iz rudnika. V programu se je upoštevalo, da so odlagališča tehnološke jalovine in jamske izkopenine v pripravljalni fazi pred dokončno sanacijo. Vsa ta izhodišča pri spreminjanju programa so bila potrjena na 4. seji Strokovne komisije za varstvo pred ionizirajočimi sevanji pri MZ dne 17.6.1992.

Po letu 2005 je program nadzora radioaktivnosti v okolici v skladu z Letnim programom nadzora radioaktivnosti okolja RŽV med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt h kateremu je Uprava RS za jedrsko varnost dala soglasje št. 39202-1/2005/11 z dne 01.06.2005. Letni program je naveden v Varnostnem poročilu za odlagališče rudarske jalovine Jazbec. V primerjavi s programom, ki se je izvajal v obdobju 1992-2005, se po letu 2005 ne izvajajo 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. Prav tako je bil obseg meritev koncentracij radionuklidov v sedimentih, vodi in meritev zunanjega sevanja precej zmanjšan. Opuščena so bila vzorčenja in analize, pri katerih so bile vrednosti analiz vzorcev v preteklih letih na meji detekcije uporabljenih metod, prispevki k dozi pa majhni oziroma zanemarljivi in se v zadnjih letih niso spreminjali. Pri vseh je bil opazen trend upadanja zaradi opustitve izvajanja del in postopnega saniranja rudniških objektov. 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.

Najpomembnejši del programa v letu 2011 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 zaradi spremljanja radona vse od mesta njegovega nastanka.

Program nadzora površinskih voda je v letu 2011 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v mesečnih vzorcih Brebovščice in Todraščice, ki sta najbolj izpostavljeni vplivom iz RŽV. 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 program so bile vključene meritve sedimentov v Brebovščici po dotoku vseh iztokov iz RŽV.

V 2011 smo izvajali tudi meritve zunanjšega sevanja gama vendar v primerjavi s preteklimi leti v manjšem obsegu. V primerjavi z nadzorom v obdobju 1992 - 2005 smo izvajali meritve zunanjšega sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri le na odlagališčih Boršt in Jazbec, pogostost meritev pa ni bila mesečna kot v obdobju 1992 - 2005, temveč le vsake tri mesece. Meritve hitrosti doz smo izvedli le na odlagališču Boršt, medtem ko meritve na območju odlagališča Jazbec ter nekdanjih odlagališčih P-9 in P-1 niso bile v programu. Na odlagališčih P-1 in P-9 so končana vsa sanacijska dela in se ne obravnavata več kot sevalna objekta. Z meritvami v letu 2010 smo ugotovili, da tudi odlagališči Jazbec in Boršt ne povzročata več dodatne doze zunanjšega sevanja v okolici. Meritve izvedene v 2011 na odlagališču Boršt potrjujejo, da odlagališče Boršt ne povzroča več dodatne doze zunanjšega sevanja v okolici. Zaključimo lahko da prispevka k dozi prebivalstva zaradi zunanjšega sevanja gama iz odlagališč ni.

V letu 2011 RŽV, poleg rednega programa nadzora radioaktivnosti, ni izvajal dodatnih meritev kot v obdobju 2009 – 2010, z namenom ugotovitve morebitnih virov radona ali naravnih radionuklidov v vodah, ki niso posledica vpliva RŽV. V 2011 so bile poleg rednega programa izvedene le meritve U-238, Ra-226 in Pb-210 v mleku v vzorcih iz okolice RŽV in referenčne lokacije z namenom določitve doze zaradi zauživanja mleka predvsem pri otrocih.

Program meritev v letu 2011 sta izvajala Institut "Jožef Stefan" in ZVD Zavod za varstvo pri delu. ZVD je kot pooblaščen izvedenec varstva pred sevanji ocenil vplive na okolje med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt ter izračunal dozno obremenjenost prebivalstva zaradi izvajanja končne ureditve odlagališč.

V letu 2011 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 nekatera 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 2011 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 vzorčevanja in določevanja radionuklidov se v letu 2011 ne razlikujejo od metod v preteklih letih.

I.1 Zrak

I.1.1 Trdne zračne delce (aerosole) zbiramo kontinuirano s črpanjem zraka preko papirnih filtrov (povprečni pretok zraka 18 m^3 na uro). Trimesečne sestavljene vzorce zračnih filtrov upepelimo pri temperaturi do 450°C in z metodo visokoločljivostne (VL) spektrometrije gama na germanijevem detektorju določimo dolgožive radionuklide U-238, Ra-226 in Pb-210. Detektor redno umerjamo s standardnimi vzorci in točkastimi viri. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025. Orientacijske meje detekcije za radionuklide v zraku so ob prečrpani količini 10.000 m^3 velikostnega reda nekaj $\mu\text{Bq/m}^3$.

I.1.2 Za meritve koncentracije radona v okolju uporabljamo dve metodi. Prva je določanje koncentracije radona z detektorji sledi. Koncentracijo določamo preko daljših časovnih obdobj; po programu nadzora merimo trimesečne povprečne koncentracije. Pri meritvah smo uporabili detektorje, ki so jih izdelali v LANDAUER NORDIC iz Uppsale na Švedskem. Laboratorij za akreditiran za odčitavanje detektorjev sledi po standardu SIST EN ISO/IEC 17025. Metoda omogoča merjenje koncentracij Rn-222 do nekaj Bq/m^3 .

Drugi način je adsorbcija radona na aktivnem oglju in je primerna za določanje 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 $2\text{-}3 \text{ Bq/m}^3$. 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.1.3 Zrak bioindikatorji (lišaji in mahovi)
Mah vzorčimo v krogu 20 m, lišaje pa zaradi majhne količine na večji površini v krogu 100 m ali več na lubju dreves (običajno debla bukve). Za geografske koordinate podamo eno samo vrednost. Vzorce v laboratoriju očistimo in odstranimo morebitne iglice, liste ali dele lubja. Nato jih nekaj ur sušimo pri $105\text{-}110^\circ\text{C}$ 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 točkastimi viri. 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. Vsakič smo odvzeli 1,6 L vode. Vodo iz potoka Todraščica smo vzorčili le ob delovnih dnevih in sicer po 1 L vode. Vzorce smo takoj po odvzemu prefiltrirali skozi filter (Milipore - 0,45 μm), nakisali s koncentrirano dušikovo (V) kislino ter shranili za kasnejšo laboratorijsko analizo.

- I.2.1 Raztopljeni U-238 smo v vzorcih površinskih vod določali z radiokemično nevtronsko aktivacijsko analizo. Metoda temelji na hitri in selektivni osamitvi urana s tri-n-butilfosfatom (TBP) iz kislega medija po končani nevtronski aktivaciji in merjenju vrha gama U-239 na HP Ge detektorju z izvrtino [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 določali 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 H_2SO_4 in sooborili Ba ter Ra v obliki PbSO_4 . Vzorec smo oddekantirali, oborino pa centrifugirali in raztopili z EDTA ter NaOH. Ra-226 smo sooborili v obliki $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ z dodatkom Ba nosilca, očetne kisline, Na_2SO_4 in BaSO_4 . Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45 μm filter. Tako pripravljen vir za meritve smo zalepili na aluminijasto ploščico. Radiokemijski izkoristek smo določili z meritvami Ba-133 na spektrometru gama, aktivnost Ra-226 pa smo izmerili na spektrometru alfa. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m^3 . Detektor smo umerili s standardnim virom (Analytics, ZDA). Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Po-209 (Analytics, ZDA), nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO_2 . Po radiokemijski osamitvi smo z meritvijo na spektrometru alfa določili aktivnost Po-210. Pb-210 smo določili na osnovi meritve aktivnosti beta njegovega potomca Bi-210 [8]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Analytics, ZDA). Meje detekcije so za Pb-210 2 Bq/m^3 in za Po-210 0,03 Bq/m^3 . Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.
- I.2.4 Th-230 smo določali tako, da smo vzorcem vod najprej dodali znano aktivnost sledilca radiokemijskega izkoristka Th-229 (Analytics, ZDA), nato radionuklide sooborili s pomočjo $\text{Fe}(\text{OH})_3$, separirali z uporabo ekstrakcijskih rezin (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplastni vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF_3 in izmerili specifično aktivnost Th-230 s spektrometrom alfa [9]. Meja detekcije znaša 0,03 Bq/m^3 . Kakovost meritev smo preverjali s sodelovanjem pri medlaboratorijskih

primerjalnih meritvah.

I.3 Sedimenti

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

- I.3.1 U-238 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.2 Ra-226 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.3 Th-230 smo določali z z metodo VL spektrometrije gama.
- I.3.4 Pb -210 smo določali z metodo VL spektrometrije gama.

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

I.4 Zunanje sevanje gama

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

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

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

Identifikacijo merilnih mest v naravi smo opravljali s pomočjo natančne karte terena in kompasa. Pri meritvah smo uporabljali prenosni merilnik (točka I.4.1) z možnostjo integracijskega odčitavanja. Merili smo na višini 1 meter od tal. Rezultate za okoliški ekvivalent doze podajamo v enotah $\mu\text{Sv/h}$.

I.5 Ribe

Vzorci rib smo očistili in posušili. V primeru, da so bile vzorčene večje ribe, smo ribje meso ločili od kosti in ju analizirali ločeno, v primeru, da so bile vzorčene ribe premajhne, smo analizirali celotne ribe. Vsebnost radionuklidov Ra-226 in Pb-210 v tako pripravljenih vzorcih je bila določena s pomočjo visokoločljivostne 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 določanje kemijskega izkoristka za U-238. Po žganju je bil vzorec razkrojen s pomočjo HNO₃, HCl in H₂O₂. Po razkroju je bil vzorec uparjen do suhega in raztopljen v HNO₃. Temu je sledilo soobarjanje Ra s pomočjo PbSO₄. Po centrifugiranju je bila oborina v kateri je bil Ra, raztopljena z NaOH in EDTA. Priprava vira za meritev Ra-226 je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z BaSO₄ ter filtracije oborine skozi 0,1 µm filter. Tako pripravljen vir je bil pomejen v spektrometru alfa. Iz preostalega supernatanta po centrifugiranju je bil sooborjen U s pomočjo Fe(OH)₃. U je bil separiran od ostalih elementov na koloni UTEVA. Priprava vira za meritev je bila izvedena s pomočjo mikroprecipitacije z NdF₃ ter filtracije oborine skozi 0,1 µm filter. Tako pripravljen vir je bil pomejen 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 HNO₃ 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 H₂SO₄ v obliki PbSO₄ in preneseni na merilno ploščico. Tako pripravljen vir je bil pomejen v plinskem proporcionalnem števcu.

	MM Boršt, sp. rob travnika				2×1
	MP Boršt, spod. rob odlagal.				2×1
	MM Boršt, zgornja cesta				

Opomba: meritve pod točko 1.2.1. se izvedejo v obeh vejah istočasno

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
1. ZRAK					
1.2.2. Rn-222 (kontinuirna meritev) metoda z detektorji sledi	MP Gorenja vas MP Dolenja Dobrava MP Gorenja Dobrava MP Todraž MP Transportni trak Jazbec, SV brežina odlagališča, zgoraj MP Brebovnica MP Bačenski mlin MP Debelo brdo MM Referenčna lokacija Ljubljana	zrak	kontinuirno vzorčevanje	kvartalno	4×3 4×1 4×3 4×2 4×1 4×1 4×2 4×1 4×1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2. VODE – BREBOVŠČICA IN TODRAŠČICA					
2.1. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	mesečno, komp.	12×1
	MP Todraščica po				12×1
2.2. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	mesečno, komp.	12×1
	MP Todraščica po				12×1
2.3. Pb-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	mesečno, kompozitum	12×1
	MP Todraščica po			kvartalno, kompozitum	4×1
2.4. Po-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	Voda	kontinuirno, dnevno	kvartalno, kompozitum	4×1
	MP Todraščica po				

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2. VODE – PODTALNICA, IZVIRI					
2.5. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Piezometer BS-30	voda	letno	letno	1×1
	MM Vodnjak Drmota Dolenja Dobrava				1×1
	MM Izvir Mrzlek Dolenja Dobrava				1×1
2.6. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Piezometer BS-30	voda	letno	letno	1×1
	MM Vodnjak Drmota Dolenja Dobrava				1×1
	MM Izvir Mrzlek Dolenja Dobrava				1×1
2.7. Pb-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MM Piezometer BS-30	voda	letno	letno	1×1
	MM Vodnjak Drmota Dolenja Dobrava				1×1
	MM Izvir Mrzlek Dolenja Dobrava				1×1
3. SEDIMENTI – BREBOVŠČICA					
3.1. U – specifična VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2×1
3.2. Ra-226, VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2×1
3.3. Pb-210,	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno	polletno	2×1

VL gama spektrometrija			kontinuirno vzorč.		
3.4. Th-230, VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2×1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
4. HRANA – PRIDELKI, KRMA					
4.1. U-238, specifična radiokemijska analiza	Bačne	mleko	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko	1
	Jazbec, neposredna okolica				1
	Todraž/Gorenja Dobrava				1
	Referenčno mesto				1
4.2. Ra-226, specifična radiokemijska analiza	Bačne	mleko	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko	1
	Jazbec, neposredna okolica				1
	Todraž/Gorenja Dobrava				1
	Referenčno mesto				1
4.3. Pb-210, specifična radiokemijska analiza	Bačne	mleko	sezonsko, enkratni vzorec	sezonsko	1
	Jazbec, neposredna okolica				1
	Todraž/Gorenja Dobrava				1
	Referenčno mesto				1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
5. ZUNANJE SEVANJE (GAMA)					
5.1. Zunanje okolje	MP Jazbec, zgornji S rob SV	zunanje	kontinuirno	Kvartalno, TLD	4×1

	brežine MP Boršt, zgornji rob S brežine MP Todraž	sevanje			4×1 4×1
5.2. Neposredna okolica odlagališč, posamezne merilne točke	Odlagališče Boršt	zunanje sevanje	letno	letno, instrument	50×1

Uprava RS za jedrsko varnost je dne 01.06.2005 izdala Soglasje k rudarskim delom št. 39202-1/2005/11, s katerim je potrdila tudi Letni program nadzora radioaktivnosti okolja RUŽV med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt in v prehodnem petletnem obdobju po zaključku končne ureditve. Letni program je naveden v Varnostnem poročilu za odlagališče rudarske jalovine Jazbec, IBE, št. UZVJ-B103/048A, revizija A, maj 2005

III. OVREDNOTENJE REZULTATOV

III.1 ZRAK

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

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 povprečne koncentracij 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 drobljenja, transporta in predelave uranove rude, je v zraku manj trdnih zračnih delcev.

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.

Merilna postaja na odlagališču Boršt se nahaja na spodnjem robu odlagališča, da bi na ta način zajeli čim več prašnih delcev, ki se sproščajo na odlagališču in usedajo na površine.

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.

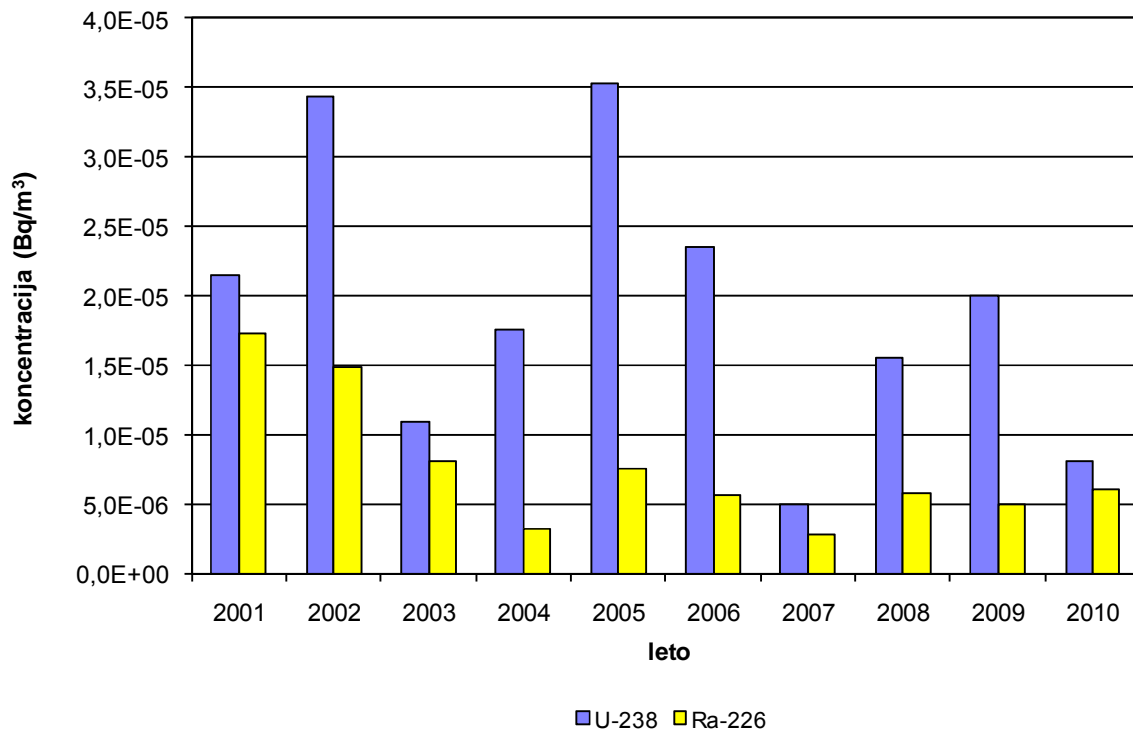
Primerjavo s preteklimi leti za lokaciji Todraž in Jazbec do leta 2010 podajmo zaradi celotne slike gibanja koncentracije naravnih radionuklidov v aerosolih v okolju Rudnika Žirovski vrh, čeprav meritev v 2011 ni bilo. Za Gorenjo Dobravo in Boršt je vključeno tudi leto 2011.

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.

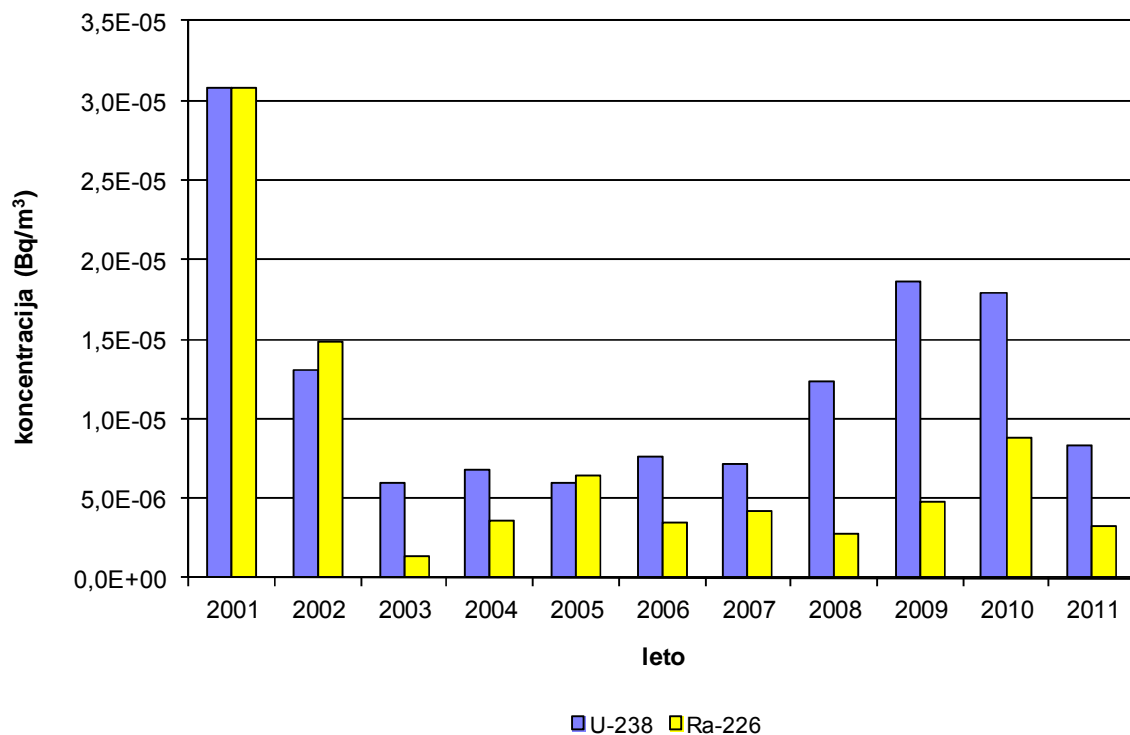
Koncentracije Pb-210 v zraku v okolici Rudnika Žirovski vrh so v okviru vrednosti iz preteklih let. Večji del Pb-210 v zraku v aerosolih je posledica razpada radonovih potomcev v zraku, le manjši del izvira iz dolgoživih radionuklidov. Kontaminacija ozračja s Pb-210 rudniškega izvora je manjša kot odstotek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

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

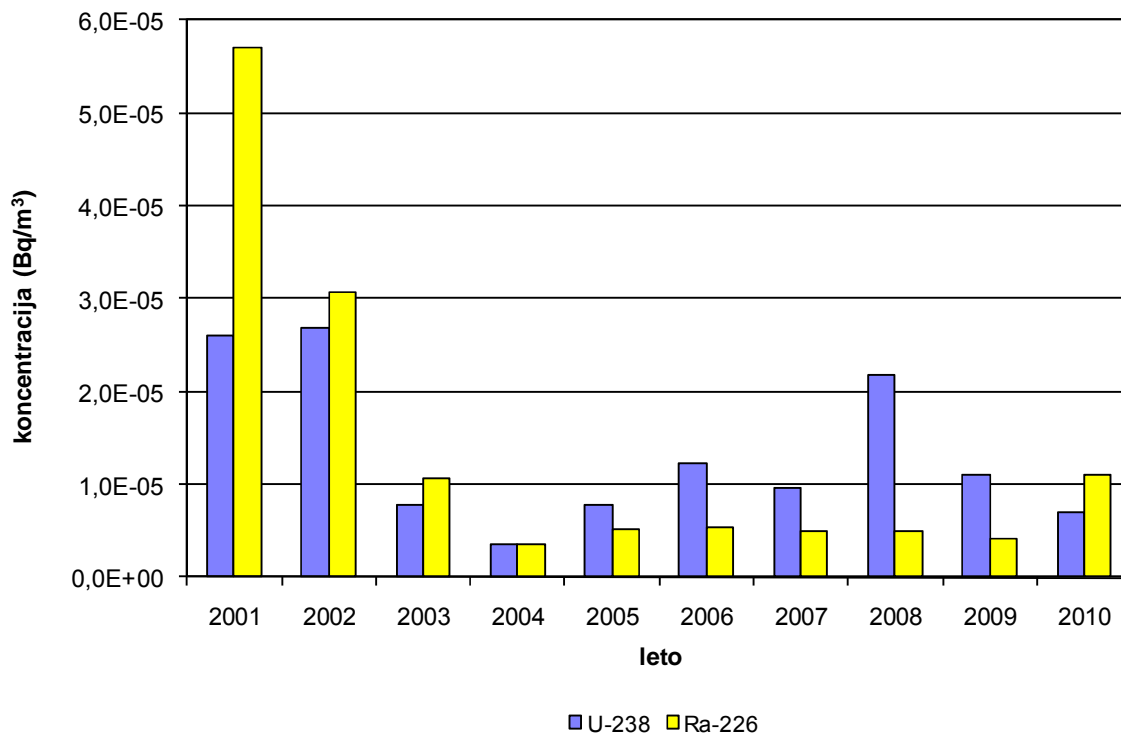
Lokacija	Koncentracija (mBq/m ³)								
	1985-1990	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Todraž									
U-238	0,05-0,10	0,003-0,033	0,003-0,078	0,012-0,038	0,002-0,008	0,007-0,035	0,009-0,039	0,004-0,014	
Ra-226	0,03-0,06	0,001-0,009	0,001-0,016	0,004-0,009	0,002-0,004	0,002-0,012	0,004-0,007	0,003-0,010	
Gorenja Dobrava									
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



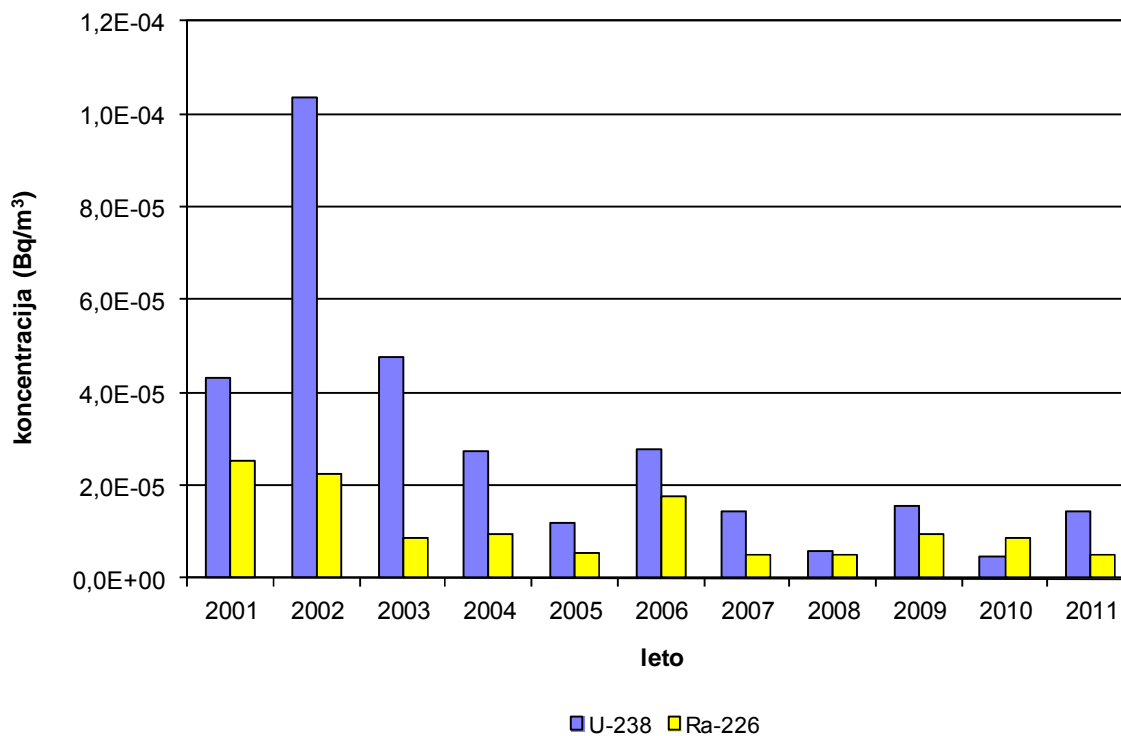
Slika 1: Povprečne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku v Todražu



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



Slika 3: Povprečne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku na odlagališču Jazbec



Slika 4: Povprečne letne koncentracije U-238 in Ra-226 v zraku na odlagališču Boršt

III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju

Emisijska vira Rn-222 na nadzorovanem področju sta:

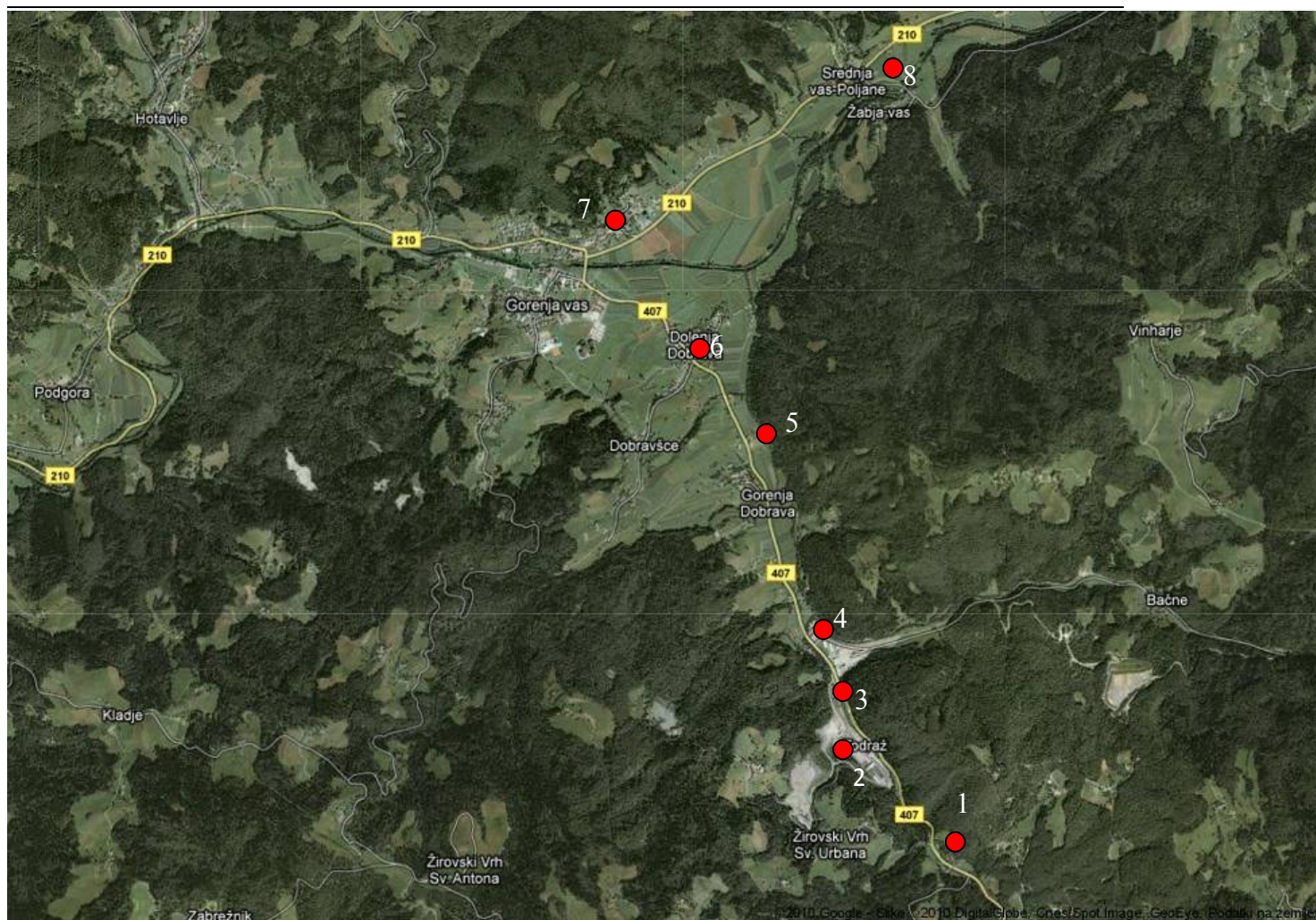
- Odlagališče rudarske jalovine na Jazbecu,
- Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt.

V letu 2000 je RŽV v propust odlagališča Jazbec vgradil zračno zadelko, ki je preprečila naravno zračenje skozi podkop. 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 zatravitvev, 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 odlagališče iz vrednosti 0,5 – 1,0 Bq/m²s zmanjšala na nivo naravnega ozadja (okoli 0,02 Bq/m²s). V letu 2011 so vrednosti sicer nekaj višje kot v 2010, vendar je to posledica precej sušnega leta (Slika 16) in posledično večjih razpok v površinski plasti zemlje, skoti katere lahko prodira radon.

Na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt je v letu 2008 potekalo preoblikovanje odlagališča zaradi zmanjšanja naklona (manjša verjetnost plazenja). Med deli so odstranili začasno prekrivko, zaradi česar je začasno prišlo do povečane ekshalacije radona (1 – 2 Bq/m²s na okoli 5 Bq/m²s). Z začetkom vgradnje končne prekrivke se je ekshalacija radona začela zmanjševati. Vgradnja končne prekrivke je potekala od avgusta do konca oktobra 2008, ko je slabo vreme preprečilo nadaljevanje del. V letu 2008 je bilo s končno prekrivko pokritih okoli 50% celotne površine odlagališča Boršt. V letu 2009 je RŽV začel z vgradnjo končne prekrivke 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 m². Z vgrajevanjem prekrivne plasti v obdobju 2008 – 2010 se je ekshalacija radona na odlagališču Boršt zmanjšala na povprečno vrednost 0,04 ± 0,03 Bq/m²s. Avtorizirana mejna vrednost za ekshalacijo radona iz površine odlagališča je 0,7 Bq/m² s

V letu 2011 je RŽV izvajal meritve koncentracije radona z detektorji sledi na lokacijah v dolini Brebovnice in Sore (Slika 5).



Slika 5: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v dolini Brebovnice 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 Čadež

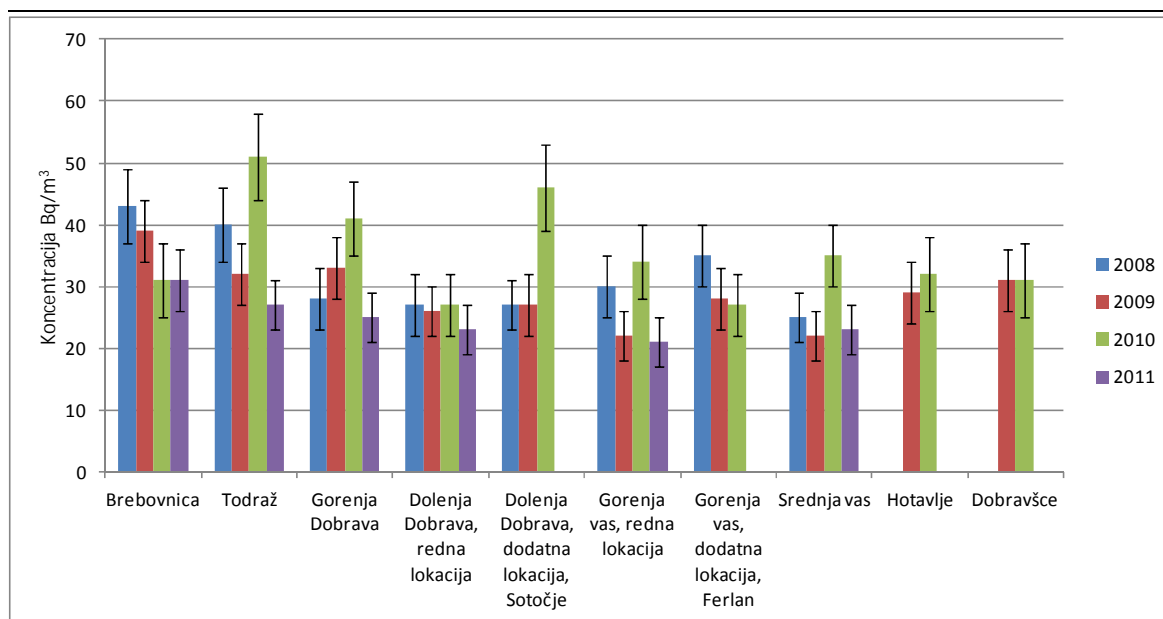
Redna lokacija v Gorenji vasi (lokacija št. 8) je bila v letu 2008 prestavljena iz travnika, torej iz odprtega prostora, 20 m višje med hiše.

V tabeli (Tabela III-2) povzemamo povprečne vrednosti koncentracije radona v dolini Brebovščice, izmerjene z detektorji sledi, v letih 2008-2011.

Tabela III-2: Povprečne letne koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, v dolini Brebovščice v letih 2008-2010 (Bq/m³)

	Brebovnica	Todraž	Gorenja Dobrava	Dolenja Dobrava, redna lokacija	Dolenja Dobrava, dodatna lokacija, Sotočje	Gorenja vas, redna lokacija	Gorenja vas, dodatna lokacija, Ferlan	Srednja vas	Hotavlje
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2011	31 ± 5	27 ± 4	25 ± 4	23 ± 4		21 ± 4		23 ± 4	
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2010	31 ± 6	51 ± 7	41 ± 6	27 ± 5	46 ± 7	34 ± 6	27 ± 5	35 ± 5	32 ± 6
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³), leto 2009	39 ± 5	32 ± 5	33 ± 5	26 ± 4	27 ± 5	22 ± 4	28 ± 5	22 ± 4	29 ± 5
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³) leto 2008	43 ± 6	40 ± 6	28 ± 5	27 ± 5	27 ± 4	30 ± 5	35 ± 5	25 ± 4	

Koncentracija radona je bila v 2011 največja v Brebovnici (Slika 6).



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

V letu 2011 so vrednosti izmerjene z detektorji sledi najnižje v zadnjih letih. Nižje izmerjene vrednosti niso posledica zaključenih del v Rudniku Žirovski vrh. Rudnik Žirovski vrh že v letih 2009 in 2010 ni izvajal večjih zapiralnih del na odlagališčih Jazbec in Boršt, a so koncentracije v letu 2010 visoke. Variacije v koncentracijah radona po posameznih lokacijah in letih so posledica naravnega nihanja in ne posledica virov radona iz rudnika. V 2010 so izmerjene vrednosti na vseh lokacijah v četrtem 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.

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 meritev detektorje sledi naročal pri nemškem radonskem laboratoriju KfK iz Karlsruhe, 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 določevali z metodologijo iz preteklosti. Za izračun prispevka rudnika smo v preteklosti 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 srečali 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 namreč lokacijo meritev koncentracije radona na redni lokaciji v Gorenji vasi, zaradi potreb lastnika zemljišča

prestavili iz odprtega zemljišča (travnik) med objekte. Zračne razdalje med novo in staro lokacijo je le 20 m, vendar pa lahko že majhna razdalja vpliva na rezultate, če so mikroklimatske razmere drugačne.

Že v 2009 se je izkazalo, da po ureditvi rudniških virov radona, ki še prispevajo dodatni radon v dolino potoka Brebovščica, obstoječa metodologija ne zadošča več za oceno prispevka rudniškega radona k morebitnim povečanim koncentracijam radona v okolju. Zato je RŽV v 2010 naročil izdelavo študije »Metodologija za oceno Rn-222 prispevka RUŽV« [1]. Študija ugotavlja, da metodologija iz preteklosti ni več ustrezna za ugotavljanje prispevka radona iz rudniških virov, obenem pa na osnovi analiz vseh razpoložljivih rezultatov meritev še vedno ugotavlja, da prispevek radona obstaja. Iz razmerja koncentracije radona na odlagališču Jazbec iz obdobja po zaprtju rudnika, ko se še niso začela izvajati zapiralna oziroma ureditvena dela (1991-1995) in povprečnega prispevka rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi v tem obdobju (1991 – 1995) lahko sklepamo na prispevek rudniškega radona v Gorenji Dobravi v tekočem letu. Študija predlaga izračun prispevka rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi po naslednji formuli:

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

pri čemer je

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

Z uporabo navedene metodologije dobimo za leto 2011 prispevek rudniškega radona na lokaciji Gorenja Dobrava:

$$\Delta C_{Rn, Y} = 7,3 \pm 1,5 \text{ Bq/m}^3 * \frac{39 \pm 6 \text{ Bq/m}^3}{94 \pm 9 \text{ Bq/m}^3} = 3,0 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$$

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

Če bi namesto izmerjene koncentracije na lokaciji Pod transportnim trakom vstavimo izmerjeno koncentracijo na lokaciji Jazbec – merilna bi bil izračunani prispevek rudniškega radona na lokaciji v Gorenji Dobravi $2,3 \pm 0,7 \text{ Bq/m}^3$. Zaradi konservativnega pristopa k izračunu doze, upoštevamo prispevek iz tiste lokacije, ki je večji.

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

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

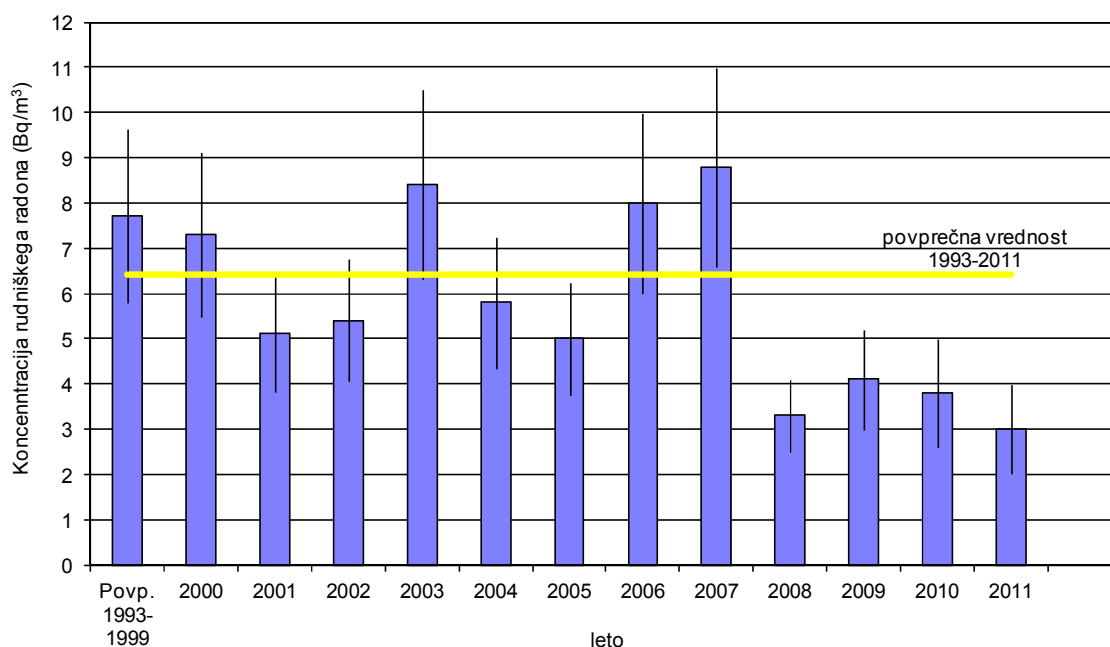
Zanimivo je, da so na odlagališču Boršt (Boršt, merilna postaja) in Jazbec (SV brežina odlagališča, zgoraj) izmerjene vrednosti koncentracije radona v 2008 - 2011 za več kot dvakrat nižje kot pred 2008. Na ostalih lokacijah v okolici RŽV, predvsem pa v dolini Brebovščice, večjih sprememb oziroma opaznega zmanjšanja koncentracije radona ni. Možno je, da so že vrednosti naravnega ozadja tako visoke, da vpliv rudnika, ki se zmanjšuje, postaja nemerljiv z obstoječo metodologijo, kar smo obravnavali v zgornjem tekstu.

V letih 2000–2002 je RŽV izvajal aktivnosti, s katerimi so zmanjšali emisijo Rn-222 (obratovanje ventilacijskih naprav P-1 in P-36, zaprt podkop P-10, zaprt propust pod odlagališčem Jazbec, dekontaminacija zelenih površin platoja P-10 in nasutje z dolomitom ter prekritje z zemljo v letu 2000). V letu 2003 je prispevek h koncentraciji radona večji kot v letih poprej ali v letu 2004. RŽV sicer ni izvajal aktivnosti, ki bi povečale prispevek k radonu v okolju. Razlog povečanja koncentracij ni znan. Povečanje lahko pripišemo kvečjemu izjemnim vremenskim razmeram od druge polovice aprila do konca leta ter izvajanju del na območju odlagališča Jazbec. Obenem moramo upoštevati tudi negotovost meritve, ki znaša okoli 25%. Podobni prispevki k negotovosti veljajo tudi pri ocenah v preteklih letih. V letu 2008 je RŽV izvajal obsežna dela na odlagališčih Jazbec in Boršt. Zaradi nanašanja prekrivke so se celotne emisije radona zmanjšale.

Iz tabele (Tabela III-3) in slike (Slika 7) 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 smo ga za leti 2010 in 2011 določili na osnovi modela [1].

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

Leto	Povprečje 1993-2000	Povprečje 2001-2007	2008	2009	2010	2011
Prispevek RŽV	7,6	6,6 ± 3,4	3,3±0,8	4, 1±1,1	3,8±1,2	3,0 ± 1,0



Slika 7: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2011 je 6,4 Bq/m³.

Po letu 2005 smo prenehali z izvajanjem mesečnih meritev dvodnevni koncentracije Rn-222 po dolini Brebovščice med Gorenjo vasjo in Brebovnicco ter na odlagališčih Jazbec in Boršt. Namesto mesečnih meritev smo dvakrat letno, v zimskem in letnem času, izmerili višinski profil po dolinah Brebovščice in Todraščice. Rezultati so podani v tabeli (Tabela III-4). Ob tem je potrebno poudariti, da je povprečna vrednost izračunana le iz dveh meritev, letne in zimske in da je posledično obremenjena z veliko negotovostjo.

Tako kot v preteklih letih je v letu 2011 opaziti trend upadanja koncentracij Rn-222 po dolini

Brebovščice od Todraža proti Gorenji vasi, kjer dosežejo raven ozadja. Z zračnimi tokovi se radon razširja po dolini ob Brebovščici navzdol in nato v smeri toka reke Sore. V širino se zaradi geografskih značilnosti radon ne razširja veliko, zato koncentracije vzdolž te poti ostajajo povečane.

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, kar smo opazili tudi leta 2011. Najnižje koncentracije v tem času so v Debelem Brdu, ki leži nad povprečno višino inverzijske meje.

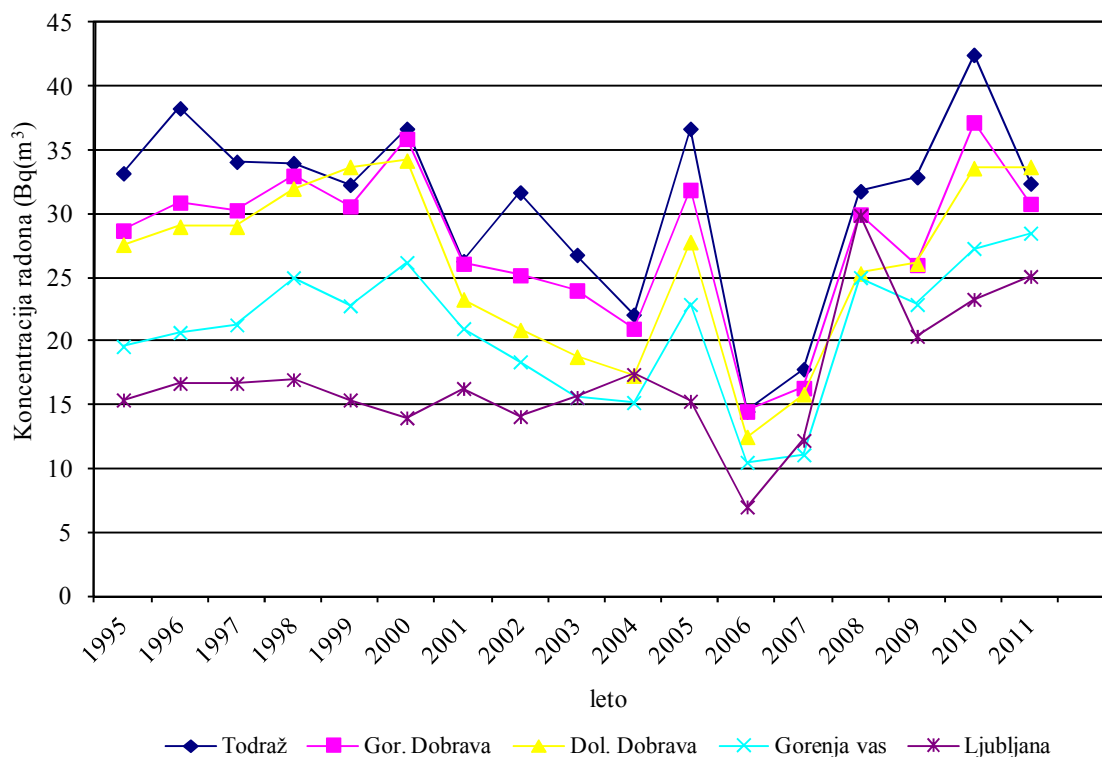
Tabela III-4: Koncentracija Rn-222 v okolici rudnika urana Žirovski vrh merjeno z ogljenimi adsorberji

Lokacija	Oddaljenost od obratov RŽV	Koncentracija Rn-222 (Bq/m ³)
		Povprečje 2011
Todraž	0,4 km	32,4 ± 5,1
Gorenja Dobrava	1,4 km	30,8 ± 5,0
Dolenja Dobrava	1,8 km	33,7 ± 5,6
Gorenja vas	2,6 km	28,5 ± 4,7
<i>Ljubljana</i>	<i>26 km</i>	<i>25,1 ± 4,2</i>

V smeri proti Brebovnici, se koncentracije Rn-222 zmanjšujejo nekoliko počasneje kot v smeri proti Gorenji vasi. Po dolini Todraščice so koncentracije radona prav tako povišane; najvišje so v Bačenskem 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 8) s povprečnimi letnimi koncentracijami dobljenimi iz dvodnevni meritev. Izmerjene vrednosti so v okviru vrednosti izmerjenih v preteklih letih.

Tabela III-5: Povprečne letne koncentracije Rn-222 (Bq/m³) merjeno z ogljenimi adsorberji v okolici RŽV v obdobju 1995 - 2011

Lokacija	Povprečje 1995-2001	Povprečje 2002-2007	2008	2009	2010	2011	Povprečje 2008 - 2011
Todraž	33,6	24,9 ± 8,4	31,8 ± 5,1	32,9 ± 5,0	42,5 ± 7,4	32,4 ± 5,1	34,9 ± 5,1
Gor. Dobrava	30,8	22,1 ± 6,3	30,0 ± 4,8	26,0 ± 4,2	37,2 ± 6,6	30,8 ± 5,0	31,0 ± 4,6
Dol. Dobrava	29,8	18,9 ± 5,2	25,3 ± 4,0	26,1 ± 4,1	33,6 ± 5,9	33,7 ± 5,6	29,7 ± 4,6
Gorenja vas	22,4	15,6 ± 4,6	25,0 ± 3,8	22,9 ± 3,6	27,3 ± 4,6	28,5 ± 4,7	25,9 ± 2,5
<i>Ljubljana</i>	<i>15,9</i>	<i>13,6 ± 3,7</i>	<i>29,9 ± 5,5</i>	<i>20,4 ± 3,2</i>	<i>23,3 ± 4,3</i>	<i>25,1 ± 4,2</i>	<i>24,7 ± 4,0</i>



Slika 8: Povprečne letne koncentracije radona v okolici RŽV, merjeno z ogljenimi adsorberji

Koncentracije Rn-222 izmerjene z metodo ogljenih 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 $34,9 \text{ Bq/m}^3$ in $21,0 \text{ Bq/m}^3$. 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 Bq/m^3 .

Najvišje izmerjene dvodnevne koncentracije Rn-222 so znotraj nadzorovanega področja na področju odlagališč 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, trditev težko potrjevati. Ocenjujemo, da se je razlika v koncentraciji radona med območjem odlagališč in okolico odlagališč zaradi nanašanja prekrivke v letih 2007-2010 zmanjšala in je kvečjemu nekaj Bq/m^3 .

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

temveč tudi njegovih potomcev. Na lokaciji rudnika prihaja radon v ozračje. Z razdaljo od rudnika koncentracija rudniškega radona pada, ravnovesni faktor pa narašča. Na osnovi meritev in analiz meteoroloških podatkov so izvajalci programa nadzora ugotovili (poročilo IJS 1990, [10]), da je ravnotežna koncentracija radona največja v okolici Gorenje Dobrave.

II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

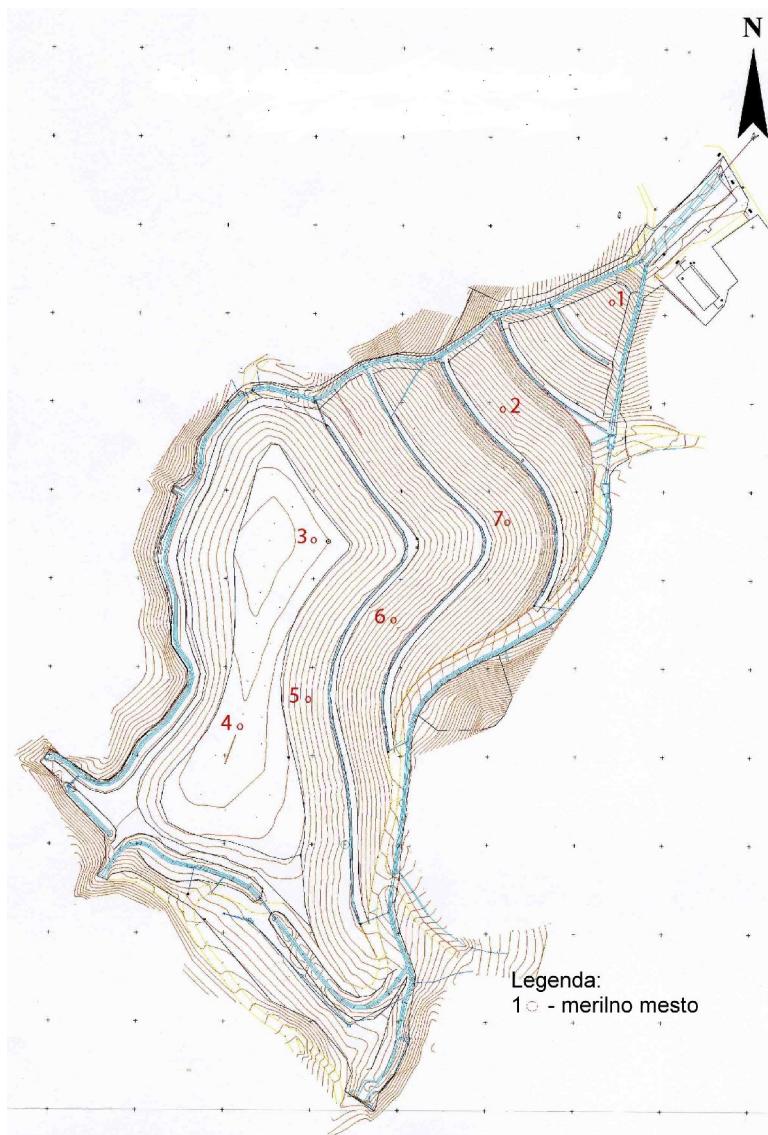
Tudi v letu 2011 smo merili koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo oglenih adsorberjev, to je v okolici odlagališč Boršt in Jazbec. Na odlagališču Boršt so koncentracije radona običajno največje na spodnjem robu odlagališča ($40,1 \pm 7,7 \text{ Bq/m}^3$), nižje so na sredini slemena. Izven odlagališča koncentracije padajo in se pri kmetiji Potokar približujejo tistim v Gorenji Dobravi. Vrednosti v dolini Todraščice so najvišje v Bačenskem mlinu, medtem ko so v dolini Brebovščice dolvodno od rudnika najvišje v Gorenji Dobravi. V letu 2011 so izmerjene vrednosti koncentracije radona z metodo oglenih adsorberjev podobne kot v 2010. Na rezultate meritev koncentracije radona z detektorji sledi močno vplivajo vremenske razmere. Ker z metodo zajamemo le dvodnevni časovni interval, lahko inverzija ali prevetrenost bistveno dvigne ali zmanjša koncentracije radona. Zato letne primerjave dvodnevnih koncentracij niso povsem smiselne.

Na odlagališču Jazbec so bile povprečne koncentracije radona v letu 2011 v povprečju 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 odlagališču Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona v preteklih letih običajno višje kot na Borštu, razen v letu 2001. 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 količinah materiala, ki so ga na odlagališče Jazbec navozili iz drugih začasnih rudniških odlagališč in iz razgradnje rudniških objektov ter v prekrivanju in zatratitvi površin odlagališča. 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 začasnih odlagališč 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 odlagališče Jazbec v celoti prekrili s prekrivko. Ekshalacija radona se je na prekritih površinah zmanjšala iz **0,5 – 1,0 Bq/m²s** na vrednosti naravnega ozadja **10⁻² Bq/m²s (Todraž)**. Približno 60% odlagališča Jazbec so s prekrivko prekrili v letu 2007, ostalo prekritje pa postopoma izvedeli do oktobra 2008, pri čemer so bila dela najbolj intenzivna v aprilu 2008.

V letu 2010 je ZVD izvedel meritve ekshalacije radona v septembru in novembru (poročila ZVD št. LMSAR-20100053-PJ in LMSAR-20100067-PJ), Slika 9. Povprečna 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 odlagališču je $0,1 \text{ Bq/m}^2\text{s}$.

V letu 2011 je ZVD izvedel meritve ekshalacije na odlagališčih v letnem (poročili LMSAR-20110019-PJ in LMSAR-20110019-A-PJ) in zimskem času (poročili LMSAR-20110019-B-PJ in LMSAR-20110019-C-PJ). Povprečna vrednost izhajanja radona iz tal na odlagališču Jazbec je bila v letnem času $0,059 \pm 0,002 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ in v zimskem času $0,096 \pm 0,015 \text{ Bq/m}^2\text{s}$.

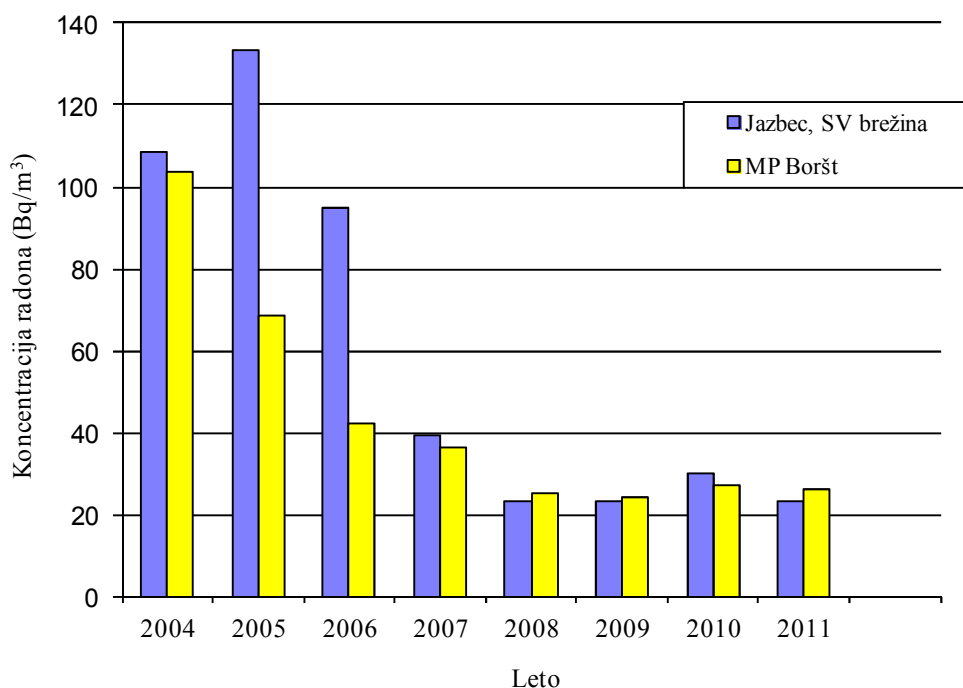


Slika 9: Lokacije meritev ekshalacije radona na odlagališču Jazbec. Najvišje vrednosti so izmerjene na lokaciji št. 4, najnižje na lokaciji št. 6.

Izmerjene vrednosti so večinoma na ravni naravnega ozadja ($1,8 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2\text{s}$, Letna poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici RŽV). So pa izmerjene vrednosti nekoliko višje kot v letu 2010, kar zelo verjetno lahko pripišemo minimalnim padavinam v letu 2011 in izsuševanju zgornje plasti prekrivke odlagališča.

Povprečna vrednost izhajanja radona iz tal na odlagališču Boršt je bila v letnem času $0,018 \pm 0,002 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ in v zimskem času $0,100 \pm 0,016 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ in je nižja od avtorizirane mejne vrednosti $0,7 \text{ Bq/m}^2\text{s}$ po izvedbi prekrivke.

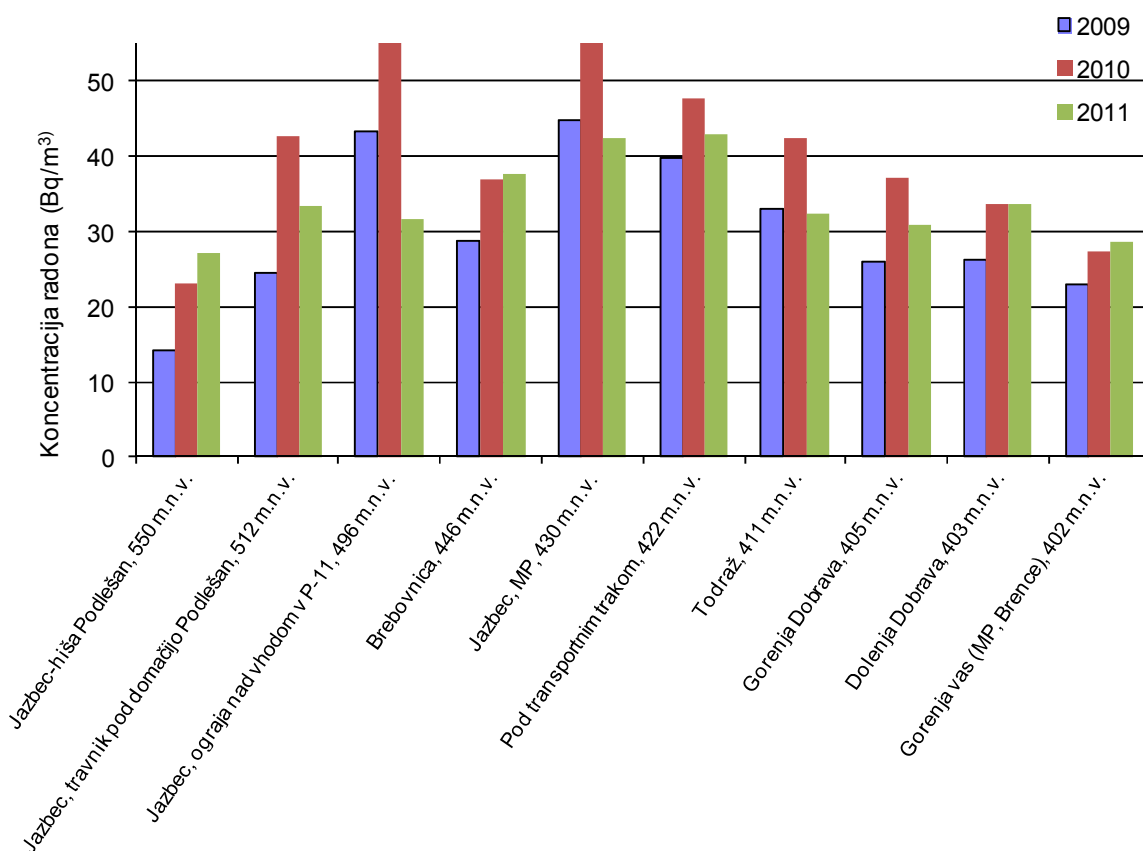
Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališčih Jazbec in Boršt so vplivala na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališčih. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije je prikazan na sliki (Slika 10).



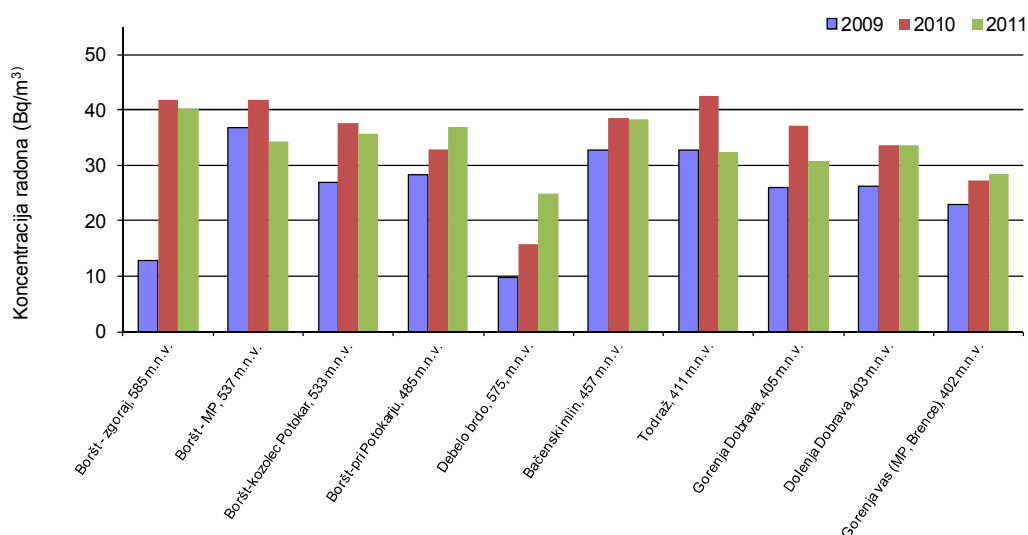
Slika 10: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt

Zelo pomemben vpliv na koncentracije radona na odlagališčih imajo meteorološki pogoji. V zimskih dneh, ko je temperaturna inverzija pogostejša, so koncentracije radona na odlagališču Jazbec višje kot na odlagališču Boršt. Odlagališče Jazbec se namreč nahaja pod mejo povprečne letne inverzijske plasti, odlagališče Boršt v celoti nad njo.

Na slikah (Slika 11, Slika 12) so višinski profili koncentracije radona po dolinah Brebovščice in Todraščice. 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. Na Debelem Brdu, ki je običajno nad inverzijsko mejo, so koncentracije radona nižje kot na ostalih lokacijah v dolini Todraščice.



Slika 11: Višinski profil koncentracije radona po dolini Brebovščice, merjeno z ogljenimi adsorberji



Slika 12: Višinski profil koncentracije radona po dolini Todraščice, merjeno z ogljenimi adsorberji

III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

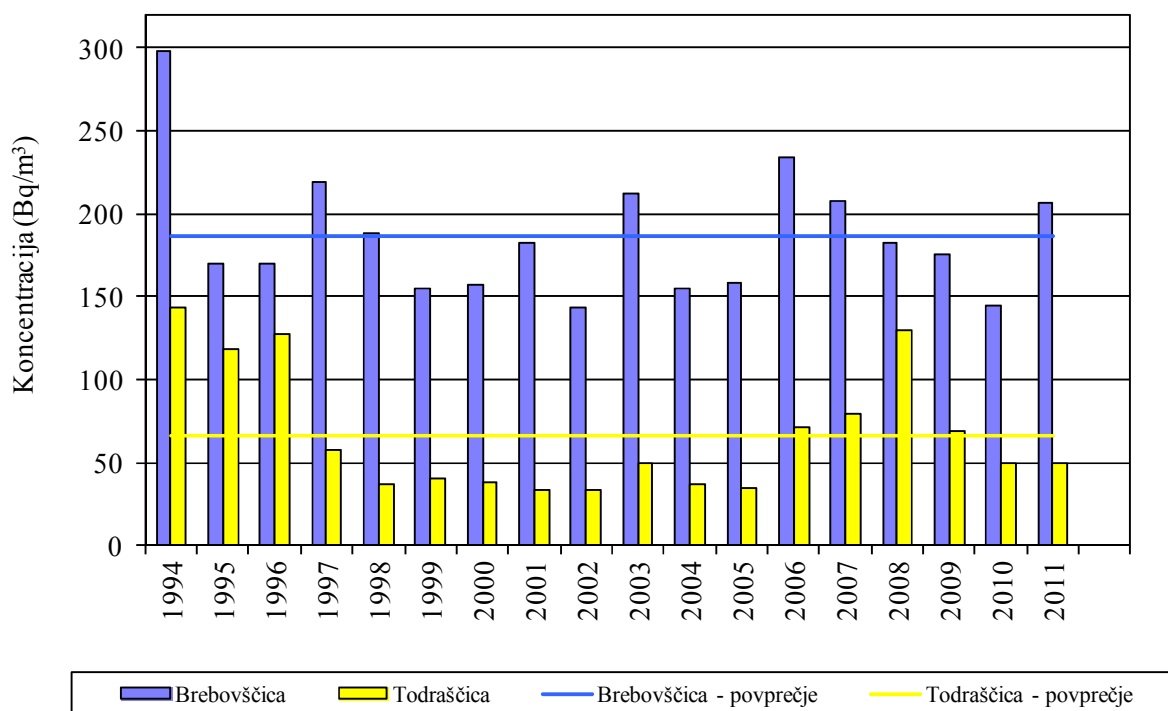
III.2.1 Vodotoki

Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele V.2.1-V.2.4).

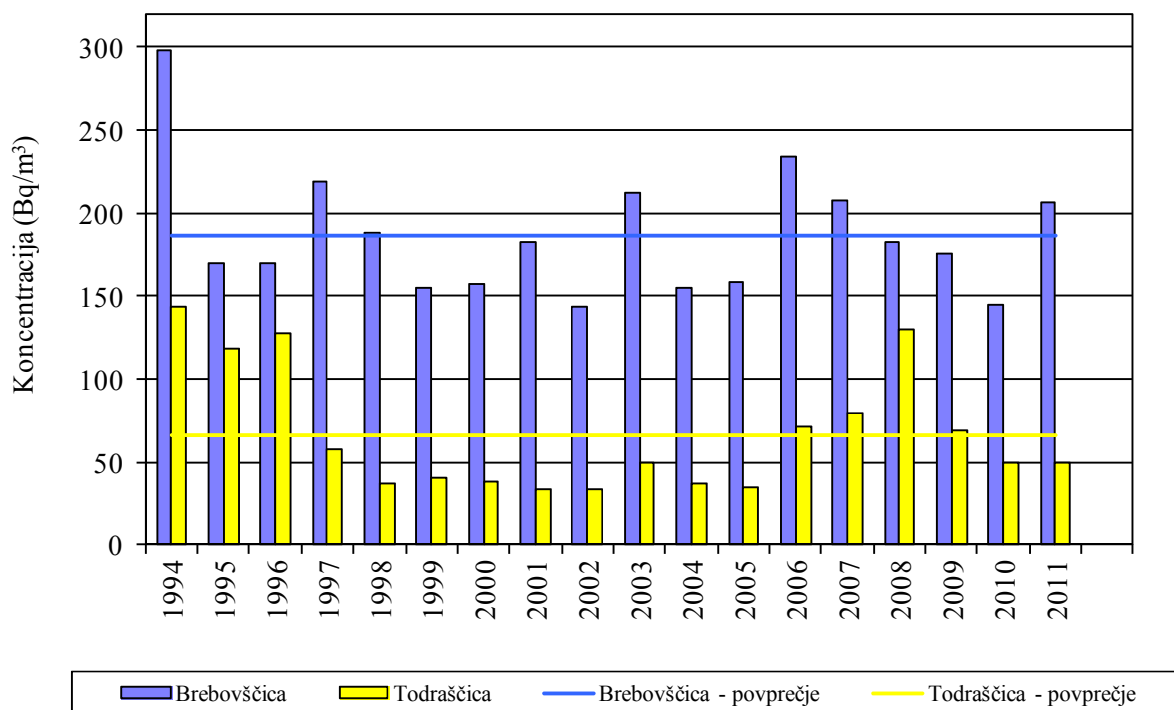
Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 13, Slika 14, Slika 15). 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 Todraščici in Brebovščici med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

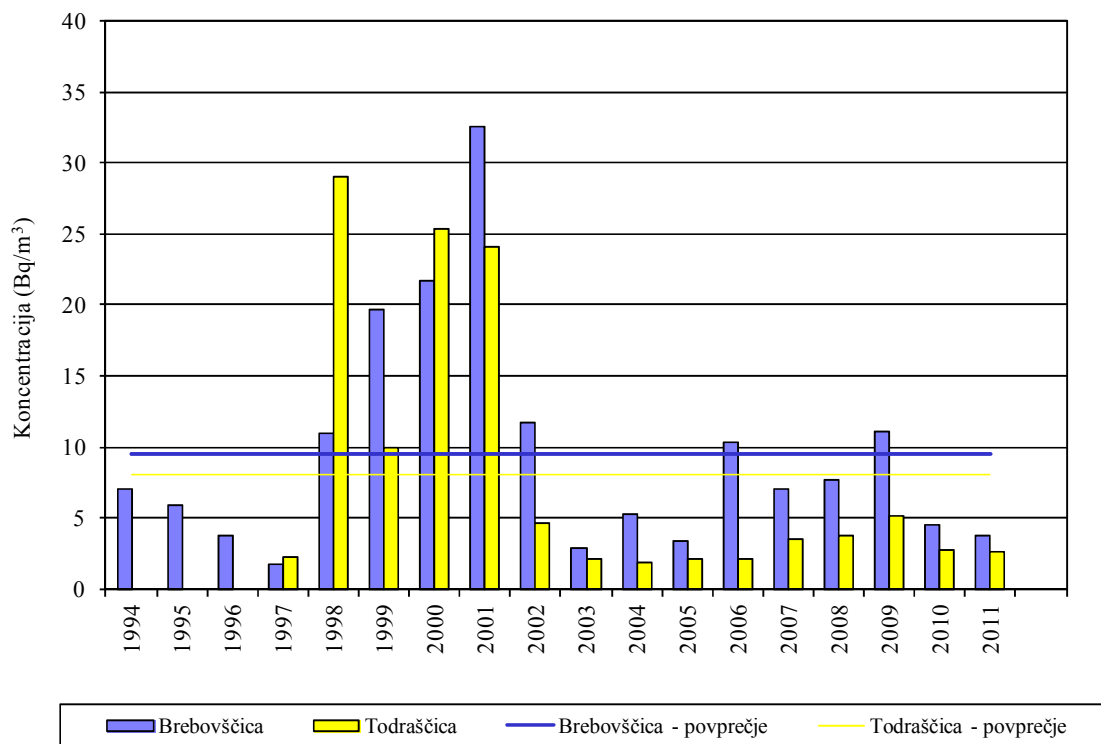
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 13: Povprečne koncentracije U-238 v Brebovščici in Todraščici



Slika 14: Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici



Slika 15: Povprečne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo nekaj odstotkov mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 (IK = 3000 Bq/m³), za Pb-210 (IK = 190 Bq/m³) in za Ra-226 (IK = 480 Bq/m³) [4]. Dodatno kontaminacijo reke Sore zaradi prispevkov RŽV lahko ocenimo iz razmerja pretokov Sore in Brebovščice, ki je približno 9:1.

Po prenehanju obratovanja rudnika so površinski onesnaževalci voda: jamska voda, izcedne vode iz odlagališča rudarske jalovine Jazbec ter izcedne in meteorne vode iz odlagališča hidrometalurške jalovine na Borštu. Glavni onesnaževalec površinske vode z Ra-226 sta jamska voda in odlagališče Boršt, prispevek odlagališča Jazbec je približno petkrat do šestkrat manjši. Pred zapiralnimi deli v jamskem obratu, je bil prispevek jamskega obrata približno trikrat večji od prispevka odlagališč.

Tudi koncentracija Ra-226 se v Todraščici poveča po dotoku izcednih vod iz odlagališča Boršt. Brebovščica v reko Soro prinese U-238 in Ra-226. Povečanje v Sori po dotoku Brebovščice, v primerjavi s koncentracijami nad dotokom Brebovščice, je sorazmerno z velikostjo pretokov Brebovščice in Sore. Zaradi nizkih koncentracij Pb-210, Po-210 in Th-230 povečanja v Sori po dotoku Brebovščice ni možno potrditi. Vrednosti se v okviru merske negotovosti ne razlikujejo.

Glavni onesnaževalec z uranom je jamska voda, ki je v letu 2011 povzročala 81% vseh emisij urana, odlagališče Jazbec je povzročalo 12% in odlagališče Boršt 7% vseh emisij urana (Tabela III-7). Skupne tekočinske emisije U₃O₈ so v letu 2011 najnižje v zadnjih petih letih.. Tekočinske emisije U₃O₈ iz odlagališča Jazbec se zmanjšujejo že od leta 2004 in so bile v 2011 najmanjše v obdobju pa zaprtju rudnika. Podatek kaže na to, da so bila izvedena zapiralna dela uspešna.

Tekočinske emisije U₃O₈ iz odlagališča Boršt so bile v 2008 in 2009 večje kot je povprečje po letu 2000, v 2010 in 2011 pa so se zmanjšale. Povečanje v 2008-2009 pripisujemo intenzivnim zapiralnim delom na odlagališču, zmanjšanje v 2010 in 2011 pa uspešnosti teh del. Ob tem velja opozoriti na zelo majhne padavine v letu 2011 in posledično majhne iztoke kontaminiranih rudniških voda.

Tabela III-7: Letne tekočinske emisije U₃O₈ in Ra-226 iz Jamskega obrata, odlagališča Jazbec in odlagališča Boršt. Vir: letna poročila Službe za varstvo pred sevanji RŽV

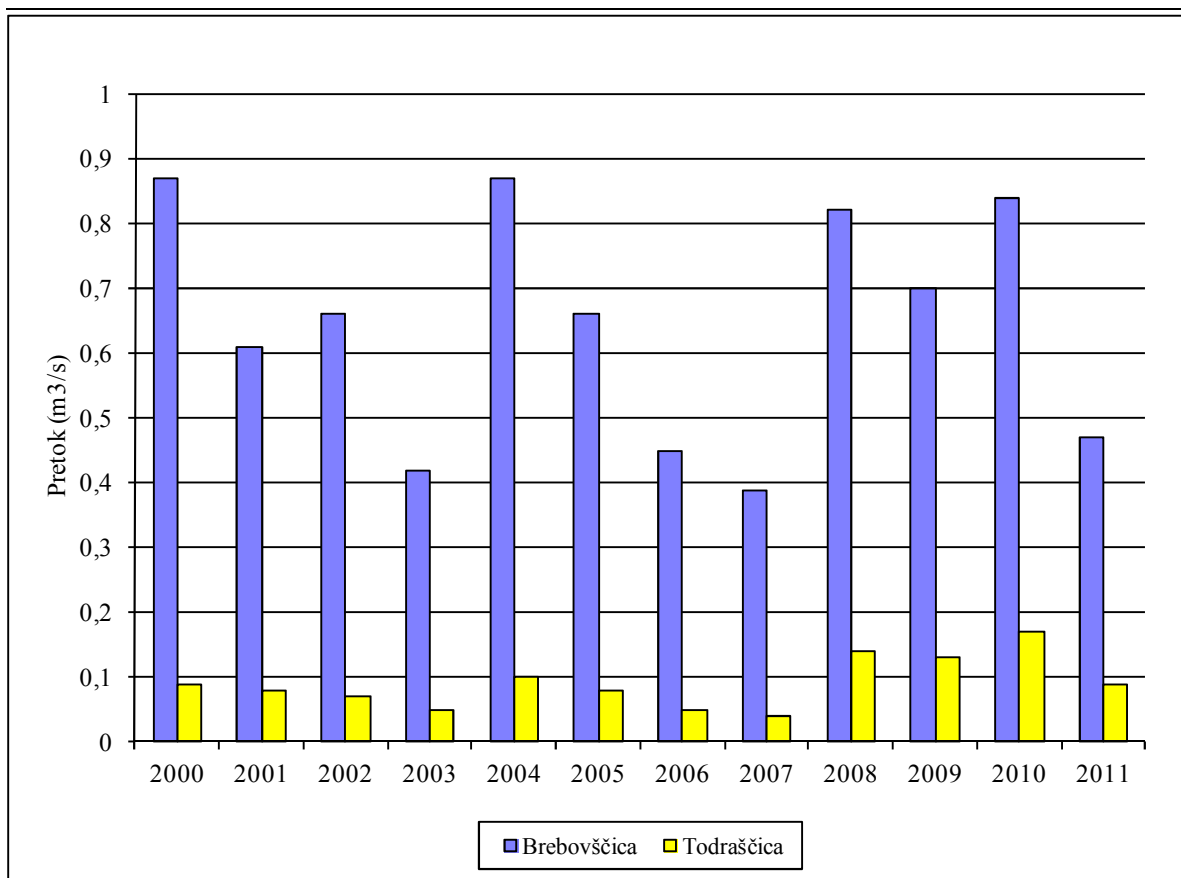
	2007	2008	2009	2010	2011
Letne tekočinske emisije U₃O₈ (kg)					
Jamski obrat	100	156	173	184	147
Jazbec	65	44	32	38	21,8
Boršt	21	77	43	29	12
SKUPAJ	185	276	248	251	180,8
Letne tekočinske emisije Ra-226 (MBq)					
Jamski obrat	20	27	32	37,1	29
Jazbec	9,3	5	3	4,6	2,2
Boršt	11,9	35	13	12,5	3
SKUPAJ	41,2	67	48	54,3	34,2

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

Na izmerjene koncentracije radionuklidov vplivajo tudi pretoki vodotokov (Slika 16). Majhna količina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, čeprav so lahko emisije nespremenjene. Tako so bile npr. letne mase emisije U₃O₈ iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt v obdobju 2004 – 2007 približno enake, a so izmerjene koncentracije U-238 v sušnem letu 2006 in 2007 večje kot leta 2005 in tudi večje kot leta 2008, čeprav so bile emisije leta 2008 večje. V letu 2010 so npr. emisije urana skoraj enake kot v 2010, izmerjene vrednosti v Brebovščici in Todraščici pa nižje, vendar sta povprečna letna pretoka Brebovščice in Todraščice v 2010 višja. V letu 2011 so emisije urana najnižje v zadnjih letih, a je bilo leto podobno sušno kot npr. leti 2006 in 2007, zato izrazitega padca v povprečnih koncentracijah urana in radija v Todraščici in Brebovščici ni opaziti.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici se z leti zmanjšujejo in so bile v letu 2010 najnižje od zaprtja rudnika. Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih 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.



Slika 16: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

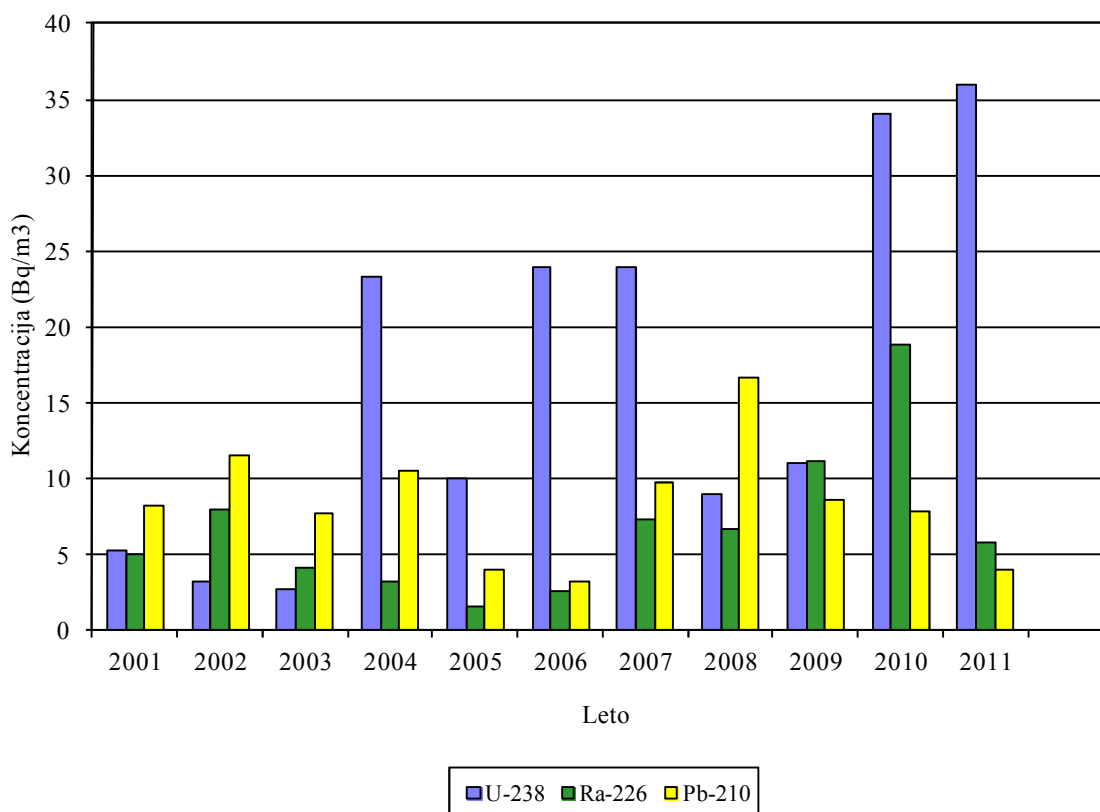
III.2.2 Podtalnica

V programu nadzora so bile v letu 2011 tudi meritve radioaktivnosti podtalnice v okoliških vrtinah in vodnjakih. Merili smo koncentracije raztopljenega U-238, Ra-226 in Pb-210 v podtalnici na lokaciji ob merilni postaji Todraž. Merili smo vodo iz vrtine BV-30 (nahaja se ob sotočju potokov Brebovščica in Todraščica) in izvira Mrzlek (nahaja se v Dolenji Dobravi), za katerega se ugotavlja povezava z vodami iz odlagališča Jazbec. Rezultati so podani v tabeli (Tabela V.2.5).

Poleg vode iz obeh vrtin smo analizirali tudi vodo iz vodnjaka na domačiji Drmota v Dolenji Dobravi (boč v kleti hiše). Nadzor podtalnice v preteklih letih je pokazal, da so v vrtinah, v primerjavi z vodnjakom pri kmetiji Drmota, višje koncentracije Ra-226 in Pb-210. Izvir Mrzlek pa ima višje koncentracije U-238 in Ra-226. Koncentracije U-238 so celo 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 17), 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 močno vplivajo vremenske razmere, predvsem sušna obdobja. V bolj suhih letih so koncentracije urana v vodnjaku višje.



Slika 17: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodnjaku na domačiji Drmota

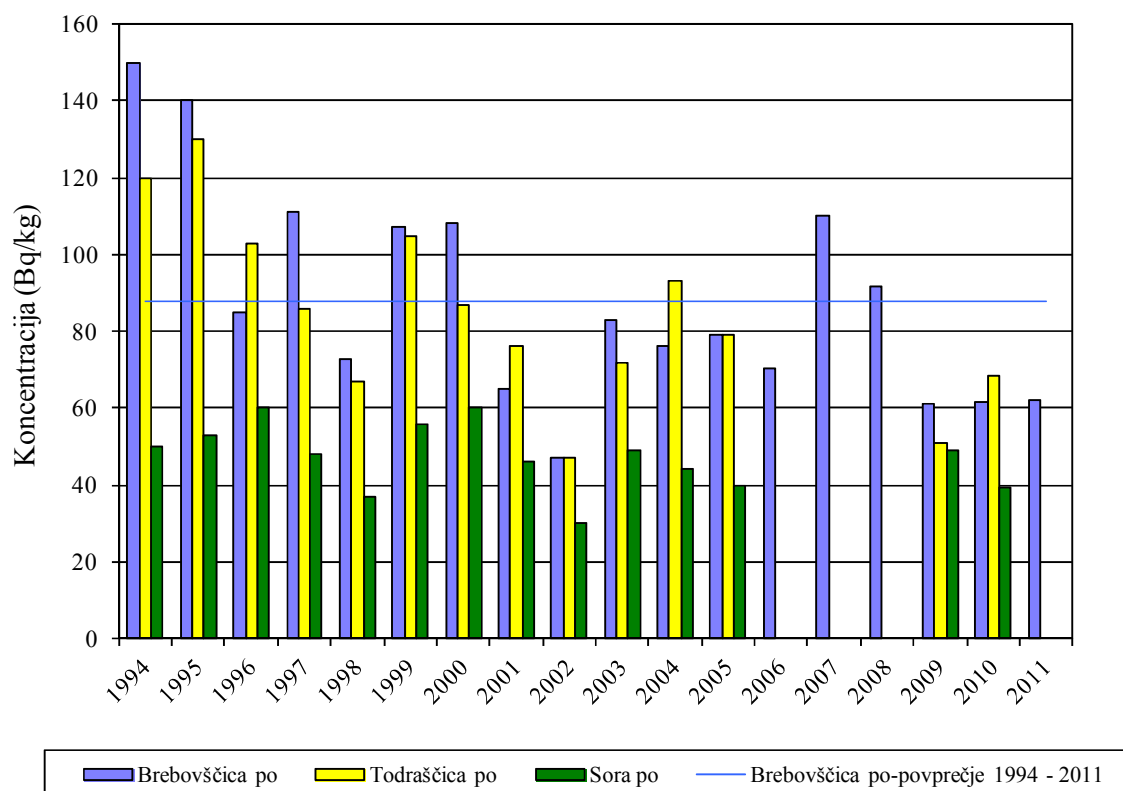
III.3 SEDIMENTI

V tabeli (Tabela V.3.1) so podani rezultati meritev vsebnosti U-238, Ra-226, Pb-210 in Th-230 v polletnih zbirnih vzorcih sedimentov v Brebovščici

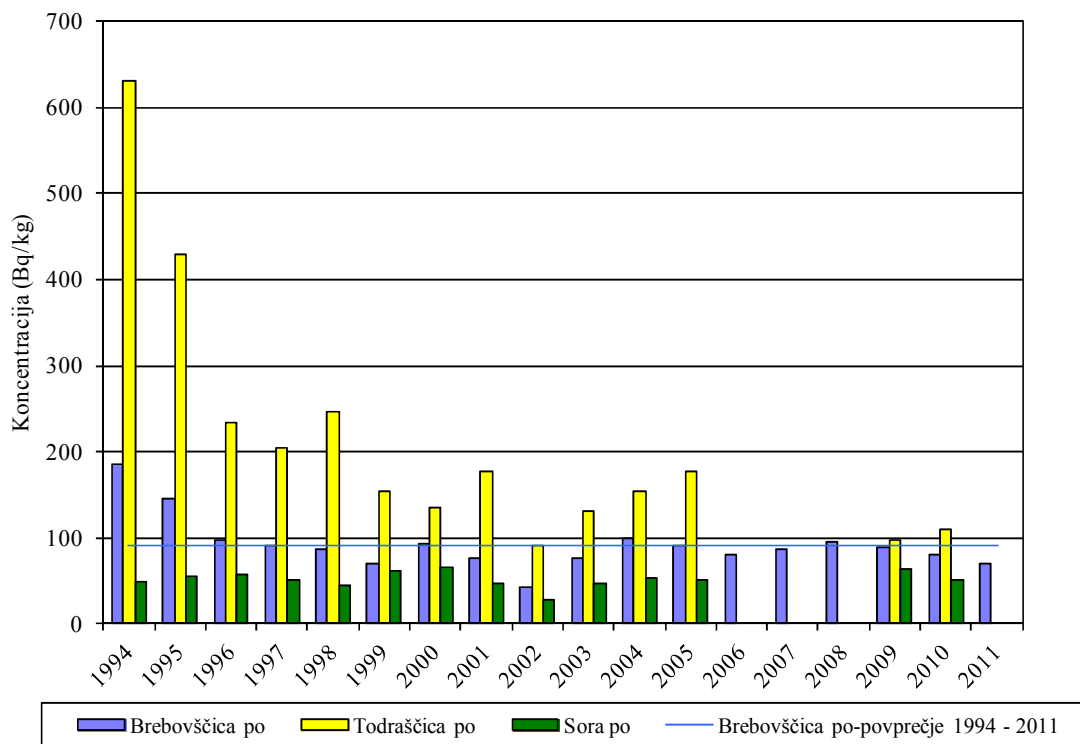
V tabeli (Tabela III-8) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 18, Slika 19 in Slika 20) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

Tabela III-8: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice po, Brebovščice po in Sora po med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

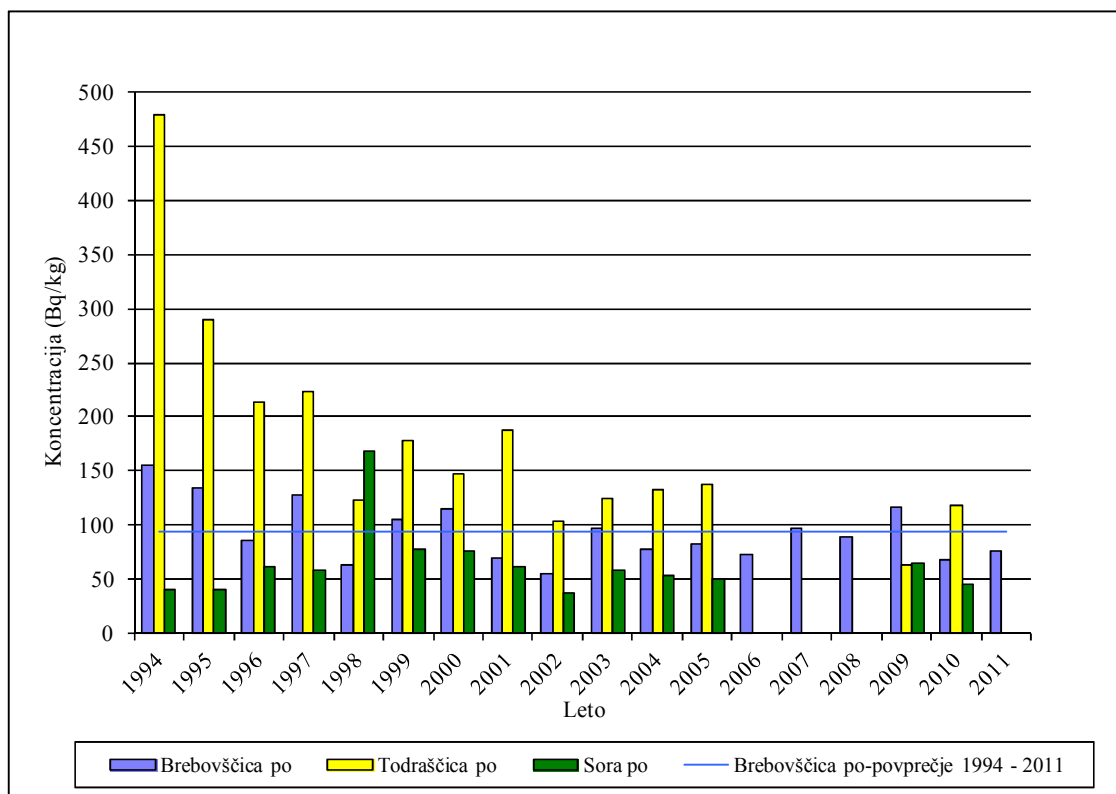
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



Slika 18: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 19: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 20: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letih 2009-2011 nižje ali pa na ravni povprečja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so v letih 2007 in 2008 višje kot v 2001 – 2005, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih. Meritve koncentracija Pb-210 so obremenjene s precejšno negotovostjo (negotovost meritve skoraj 30%, faktor zaupanja $k=1$), zato enkratne višje vrednosti v 2009 v Brebovščici PO ali Todraščici PO v 2010, ne moremo pripisati morebitnim delom na odlagališčih.

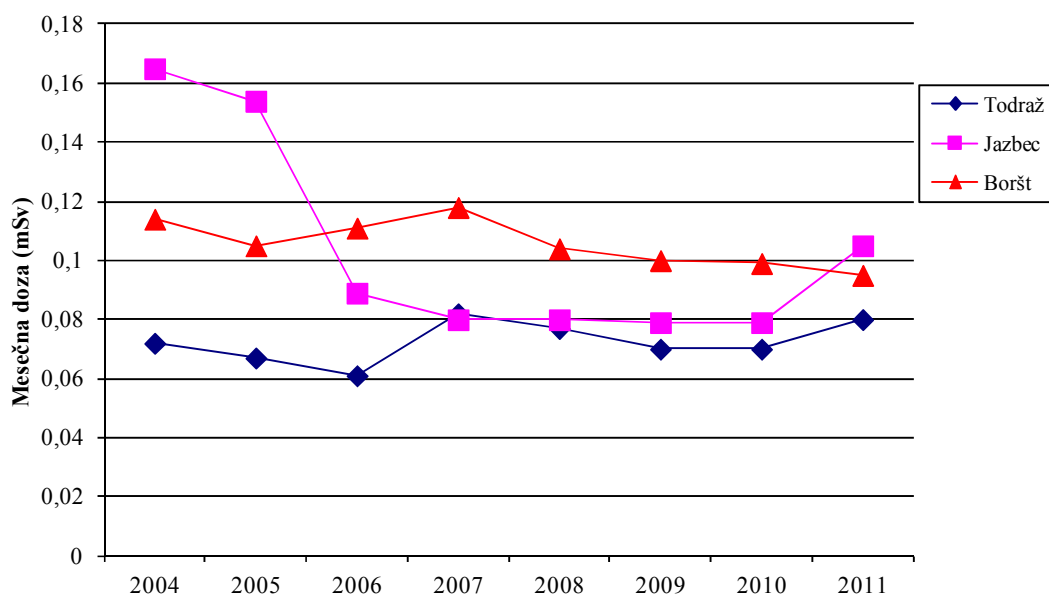
Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todraščici v 2009 in 2010 so občutno nižje kot v 2005, ko je izvajalec zadnjič izvedel meritve. Zelo verjetno je to posledica zapiralnih del in zmanjšanja izpiranja delcev iz odlagališča Boršt. Zanimivo je tudi, da v sedimentih iz Todraščice koncentracije Pb-210 in Ra-226 niso večje kot v sedimentih Brebovščice, kar je bilo očitno pred letom 2005.

III.4 MLEKO

V letu 2011 je 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 Ra-226. Koncentracija Ra-226 v mleku Dolenje Dobrave je skoraj desetkrat višja od koncentracije v mleku iz referenčne lokacije.

III.5 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.5.1). 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 21). 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. Prav tako je razvidno, da ni skoraj ni razlike med leti za obdobje 2009-2011, saj so zapiralna dela končana.



Slika 21: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

Poleg meritev s TL dozimetri smo okoli odlagališča Boršt merili hitrosti absorbirane doze v zraku (Tabela V.5.2), medtem ko meritev na odlagališčih P-1 in P-9 po letu 2005 ni več v programu, na odlagališču Jazbec pa smo jih nazadnje izvedli v 2010.

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

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

III.4.1 Zunanje sevanje v okolici odlagališča HMJ na Borštu

Odlagališče Boršt predstavlja največji vir sevanja gama v okolju RŽV. Izmerjene vrednosti hitrosti zunanje doze so na samem odlagališču nižje kot v preteklih letih in se praktično ne razlikujejo od naravnega ozadja. Na nekaterih lokacijah v okolici odlagališča lahko izmerimo celo višje vrednosti hitrosti doz, kot na odlagališču. Izmerjene vrednosti niso posledica vpliva odlagališča ampak lokalnih geoloških posebnosti.

Kot ozadje hitrosti zunanje doze zunaj ograje odlagališča smo vzeli hitrost okoliškega ekvivalenta doze 0,12-0,13 $\mu\text{Sv/h}$. Meritve smo izvajali na točkah okoli odlagališča in zajeli vsa mesta, kjer smo v preteklosti izmerili povišane vrednosti.

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

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 v preteklih letih.

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 izračune doz izvajali le za odraslega prebivalca iz okolice RŽV.

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

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

IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI

IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku

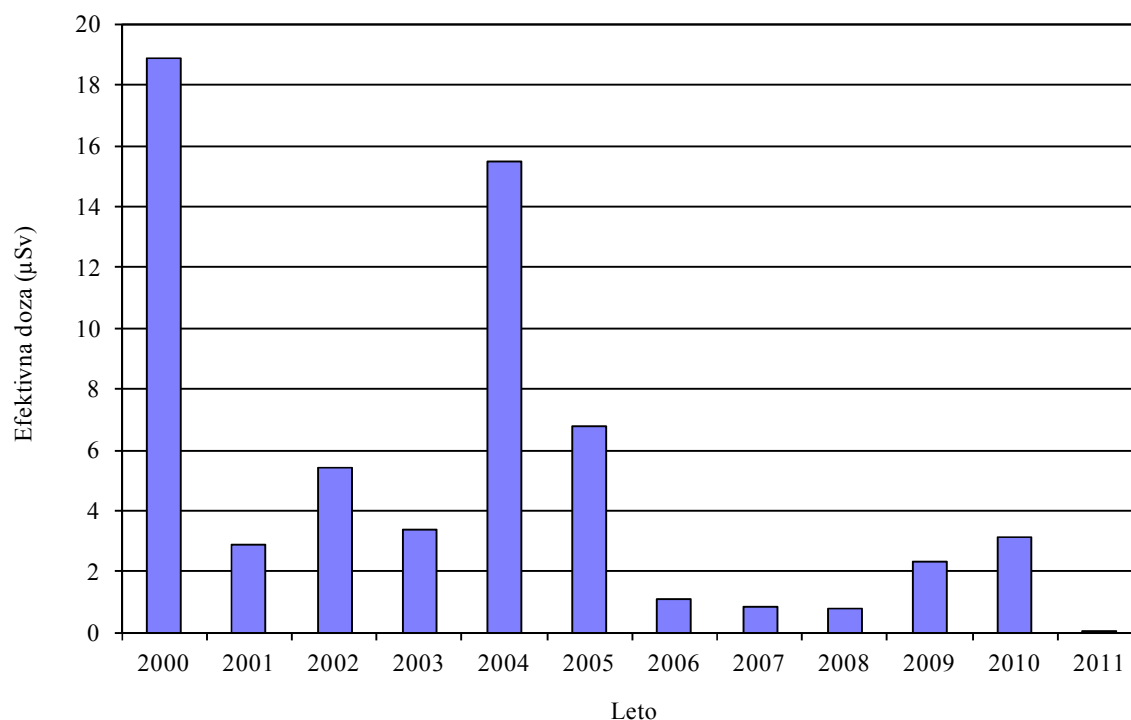
Letno efektivno dozo na posameznika v okolici RŽV zaradi dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste v zraku, smo v preteklosti ocenjevali iz meritev na več lokacijah v vplivnem območju rudnika. Upoštevali smo povprečno koncentracijo v bližnjem okolju rudnika (Gorenja Dobrava) in jo primerjali s povprečno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

Pri izračunih smo uporabili dozne pretvorbene faktorjev 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. RŽV v 2011 ni izvajal del, ki bi povzročala prašenje ali kakorkoli drugače 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 22) 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 izračunu doze.



Slika 22: Letne učinkovite doze v okolici RŽV zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku za odraslega prebivalca. Ocenjena letna učinkovita doza v 2011 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]. Čase zadrževanja v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [16]. Kot osnovni merski podatek za izračun smo upoštevali povprečno vrednost dodatne koncentracije Rn-222 zaradi RŽV.

Ocenjena efektivna doza zaradi inhalacije Rn-222 v letu 2011 je:

$E = 1,6 \pm 0,5 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

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

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

in je podobna dozi v preteklih letih.

IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija

Pri izračunu smo, tako kot doslej upoštevali, da se del prebivalstva vozi na delo v druge kraje, drugi del pa se ukvarja s kmetijstvom in je tako stalno izpostavljen vplivu rudnika. V dnevnem času, ko je človek najbolj aktiven so koncentracije radona najnižje [18]. Koncentracija radona se sicer nenehno spreminja in najvišje vrednosti doseže v nočnem času. V stabilnih vremenskih razmerah je bila najvišja koncentracija na posameznih lokacijah tudi do 10 krat večja od najnižje, v vetrovnem in nestabilnem vremenu pa je bila ta razlika bistveno manjša. Primerjava izračunov z upoštevanjem dnevnega spreminjanja koncentracij ali izračunov s predpostavljeno enakomerno koncentracijo radona, pokaže le majhne razlike v oceni doze velikosti nekaj odstotkov.

Dozne pretvorbene faktorje smo privzeli po *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5].

Za povprečni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na območju 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 področju Gorenje Dobrave [18]. V Todražu in Dolenji Dobravi je nekaj odstotkov nižja. Vendar so te razlike sorazmerno majhne in vse prebivalce v dolini Brebovščice, v skladu s priporočili ICRP 43 [19] za homogenost referenčne skupine, obravnavamo kot eno referenčno skupino.

Zaradi rudnika je bila koncentracija radona na prostem v preteklih letih v povprečju večja za okoli 7 Bq/m^3 (Slika 7). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibal med $6,2\text{-}9,3 \text{ Bq/m}^3$.

V letu 2011 je koncentracija radona povečana za $3,0 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2011:

$E = 64 \pm 21 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

$E = 61 \pm 20 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 10 let,

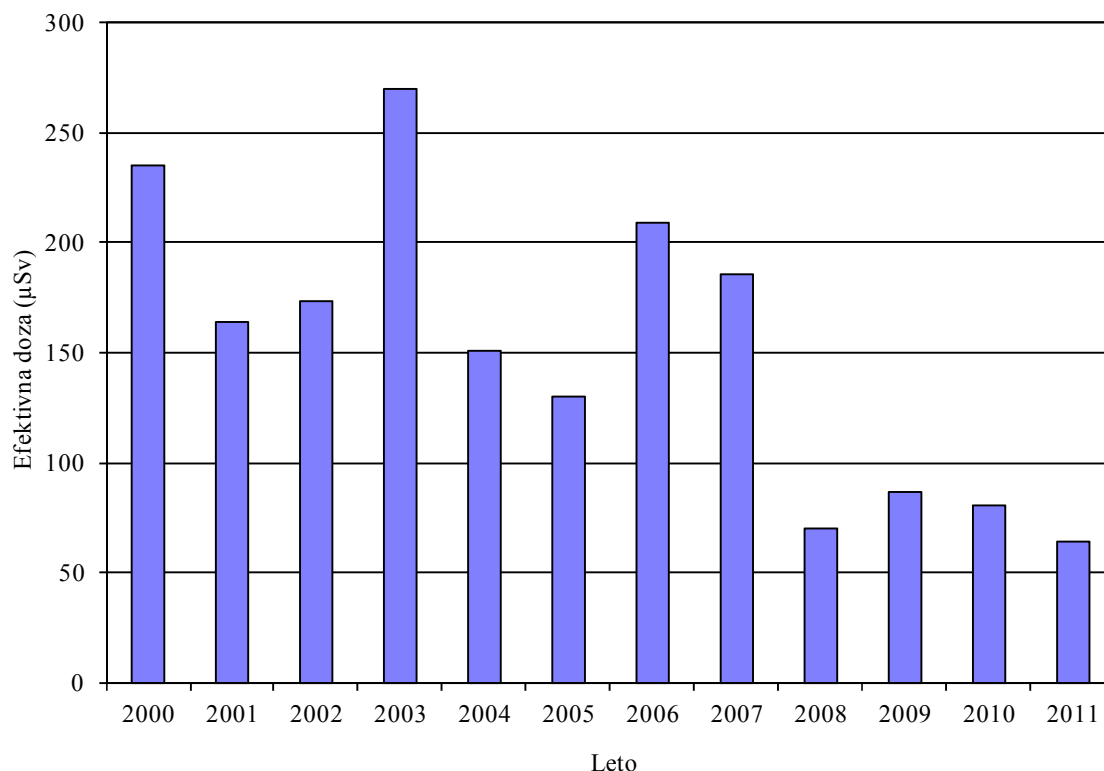
$E = 69 \pm 23 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 1 leto.

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2011 prejeli dozo $74 \pm 35 \mu\text{Sv}$. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje so manj obremenjeni in

so prejeli dozo $64 \pm 21 \mu\text{Sv}$.

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za obdobje 2008-2011 so si podobne in bistveno nižje kot v preteklih letih. Če 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 v zadnjih letih 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 giblje med 0,07 in 0,3 mSv (Slika 23). Najbolj so obremenjeni prebivalci, ki žive v dolinskem področju v oddaljenosti 2-2,5 km od rudniških obratov, saj so tam koncentracije potomcev največje (poročila IJS 1990-1995, 1998, ZVD 1996-2000, IJS/ZVD 2001-2008, ZVD 2009-2010). Seveda ves radon ne izvira iz rudnika. Ocenjeni prispevek rudniškega radona je bil pred letom 2008 približno četrtnina, kar smo ocenili iz razlike koncentracij radona na območju, kjer je možno z meritvami zaznati vpliv rudnika in območju kjer vpliva ni. Glede na izvedena sanacijska dela na odlagališčih, se je izkazalo, da ocena prispevka rudniškega radona z odštevanjem izmerjenih koncentracij ni več ustrezna [1]. Ocenjeni prispevek rudniškega radona ni več četrtnina pač pa le še okoli 5%.



Slika 23: Eektivne 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 2011 v programu niso bile zajete meritve hrane, za oceno doze v letu 2010 privzemamo podatke iz leta 2005, razen za mleko, kjer upoštevamo podatke iz leta 2011. Za mleko je namreč RŽV v letu 2011 izvedel analizo več vzorcev iz območja RŽV in referenčne lokacije. Analize je izvedel Institut Jožef Stefan z radiokemično separacijo in meritvijo na spektrometru alfa (U-238 in Ra-226) ali proporcionalnem števcu (Pb-210). V tabeli (Tabela IV-1) podajamo povprečne vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka, ki so jih izmerili na IJS v letu 2011.

Tabela IV-1: Povprečne vsebnosti U-238, Ra-226 in Pb-210 v mleku iz območja RŽV in referenčne lokacije. Analize je v letu 2011 izvedel IJS.

	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)
Območje RŽV	0,0094 ± 0,0007	0,0693 ± 0,0047	0,076 ± 0,013
Referenčna lokacija	0,0010 ± 0,0003	0,0074 ± 0,0008	0,028 ± 0,014

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 tipičnih 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 razsipanja 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, 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 izračunih 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 področja RŽV, kar verjetno ni povsem realno.

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.

V letu 2011 je RŽV ponovno izvedel meritve vsebnosti radionuklidov v mleku z bolj občutljivimi merskimi metodami (nazadnje v 2008). Razlike v izmerjenih koncentracijah Ra-226 in Pb-210 v 2011 med območjem Rudnika Žirovski vrh in referenčno lokacijo so v letu 2011 večje kot v 2008, kar vpliva na višjo ocenjeno dozo zaradi pitja mleka. Najmanj se to pozna pri odraslem človeku, medtem ko je največji porast doze viden pri otroku starem eno leto, kjer konzervativno upoštevamo, da pije le mleko in ne zauživa druge hrane.

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 2011)

Vrsta hrane	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Količina (kg/leto) za odraslega prebivalca
mleko	0,07	0,08	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 Brebovščice in Sore predstavljajo le manjši delež v prehrani ljudi. V letu 2009 je IJS izvedel meritve radiaktivnosti v vzorcih rib. Iz izmerjenih vrednosti in razlike koncentracij U-238 in ra-226 v mesu rib v Brebovščici 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 če 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

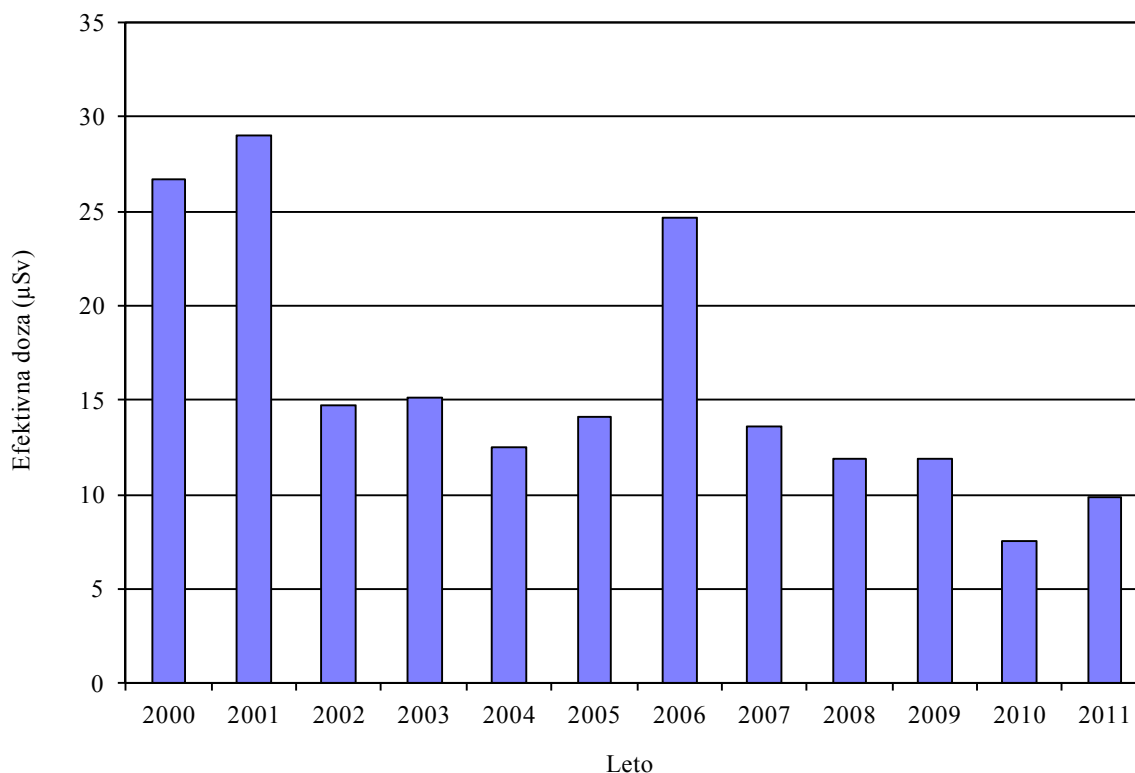
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovščice in znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 9,9 \pm 7,0 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 11,9 \pm 8,4 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 10,0 \pm 7,1 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

Izračunana letna efektivna doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 24). Za količine zaužite vode smo upoštevali [22].



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

IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA

IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi

Podobno kot ocenjujemo, da prispevka rudnika k dozi zaradi vdihavanja aerosolov v 2011 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 pretvorbeni faktor $0,01 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$, na prostem pa $0,25 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$. Upoštevali smo faktor slabitve sevanja zaradi stavbe, čas zadrževanja zunaj in znotraj stavb in faktor ravnotežja na prostem in v hišah. Prišteli smo tudi dozo zunanjega sevanja zaradi depozicije radonovih potomcev.

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

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

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

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč

V okolici odlagališč nismo izmerili povečanih hitrosti doze. Že na samih odlagališčih so hitrosti doze na nivoju ozadja. Izven odlagališč posamezna povečanja pripisujemo geološkim posebnostim in ne vplivu odlagališča.

Za bližino odlagališč ocenjujemo letno efektivno dozo zaradi zunanjega obsevanja na:

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

IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV

Skupno izpostavljenost prebivalstva virom sevanja iz virov RŽV dobimo s seštevanje prispevkov k dozi po vseh prenosnih poteh. Pri vsakem izračunu smo upoštevali najbolj realne možnosti in končna doza je realna doza, ki bi jo lahko dobil posameznik zaradi RŽV. Ocena je narejena za povprečnega odraslega posameznika, za otroka starega 10 let in za otroka starega 1 leto iz referenčne skupine ljudi v dolini Brebovščice. Posamezni prispevki k dozi po različnih prenosnih poteh so podani v tabeli (Tabela IV-3). Za prispevke prenosnih poti, ki niso bile upoštewane v programu meritev za leto 2010, smo uporabili podatke za leto 2005 in 2008 (mleko).

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

Prenosna pot	Pomembnejši radionuklidi	Letna efektivna doza ODRASLI (μSv)	Letna efektivna doza OTROCI 10 let (μSv)	Letna efektivna doza OTROCI 1 leto (μSv)
Inhalacija	- aerosoli z dolgoživimi radionuklidi	0,0	0,0	0,0
	- samo Rn-222	1,6	1,1	0,4
	- Rn, kratkoživi potomci	64	61	69
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi	(9,9)	(11,9)	(8,4)
	- ribe (Ra-226, Pb-210)	<0,6	<0,6	-
	- kmetijski pridelki, hrana (Ra-226, Pb-210)	< 30	< 80	< 60
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija)	1,0	1,0	1,0
	- γ sevanje dolgoživih radionuklidov	-	-	-
	- γ sevanje v okolici odlagališč	-	-	-

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2011 je:

97 μSv (0,097 mSv) za odraslega prebivalca

144 μSv (0,144 mSv) za otroka starega 10 let

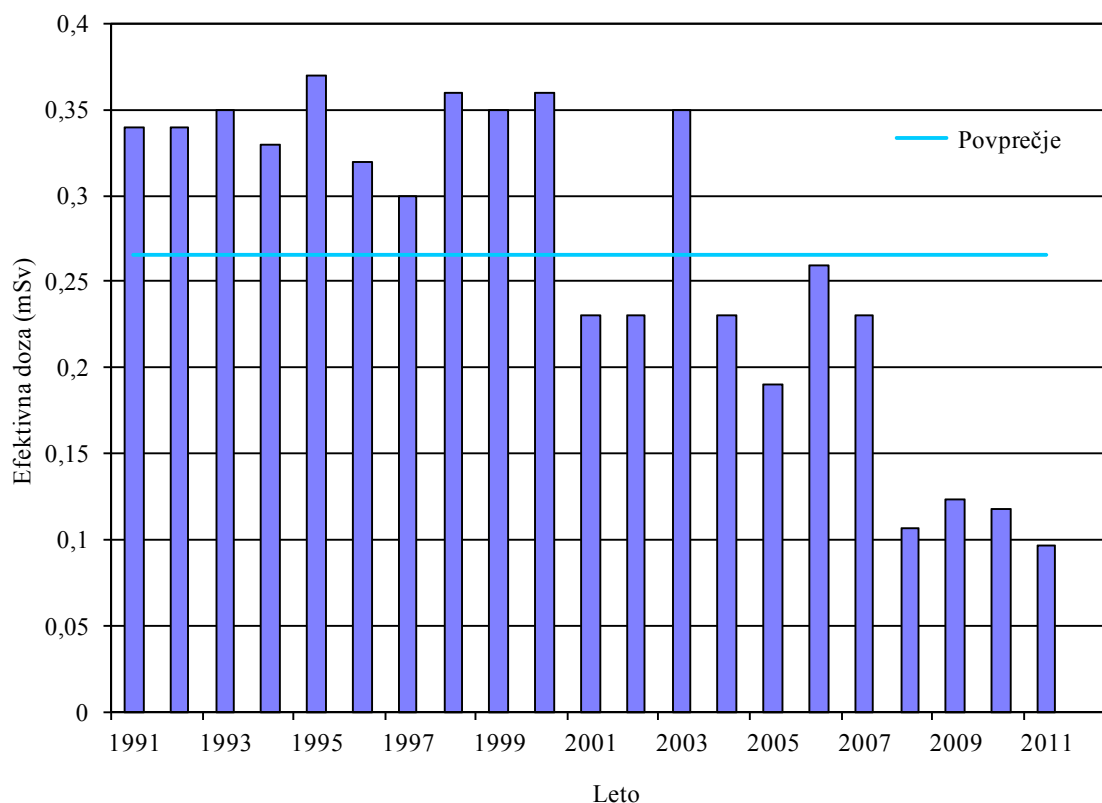
130 μSv (0,130 mSv) za otroka starega 1 leto

(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 25). Po letu 2000 je viden pomik k nižjim vrednostim zaradi izvedenih del v obdobju 2000-2002, s katerimi so se zmanjšale emisije radona, ki največ prispeva k dozni obremenitvi prebivalstva. Po letu 2007 pri izračunu doz uporabljamo hitrosti dihanja iz reference [17]. V preteklosti smo

v izračunih dozne obremenjenosti uporabljali hitrosti dihanja za težko delo preko vsega dneva, kar je preveč konzervativna predpostavka. V primeru, da bi računali po enaki metodologiji kot pred letom 2007, so ocenjene letne efektivne doze okoli 10% višje. Najnižja ocenjena letna efektivna doza je v letu 2011, saj je tudi ocenjeni prispevek radonovih potomcev, ki največ prispevajo k dozi, najmanjši.



Slika 25: 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 2011 je 0,097 mSv, tako da je celotna letna doza za prebivalca v okolici RŽV 5,6 mSv, pri čemer nista upoštevana prispevek černobilske kontaminacije in medicinskega obsevanja. V celotnem prispevku naravnega sevanja (brez medicinskega obsevanja in černobilske kontaminacije) znaša prispevek rudnika okoli 2 %.

V. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE

V tem poglavju podajamo oceno vplivov RŽV na okolje in primerjavo med obdobjem, ko je rudnik obratoval, obdobjem, ko so se izvajala dela končne ureditve nekdanjih rudniških objektov ter po končani ureditvi rudniških objektov.

1. Radioaktivni aerosoli, ki vsebujejo dolgožive radionuklide uranove razpadne vrste nastajajo predvsem pri izkopu, drobljenju, transportu, odlaganju in ravnanju jamske jalovine in kontaminiranega materiala. Vdihavanje teh delcev, njihovo usedanje na površine in imerzija ne predstavljajo večje dozne obremenitve. Ocenjujemo, da v letu 2011 tega prispevka ni več, saj RŽV ni izvajal aktivnosti, ki povzročala prašenje.

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

Po zaprtju rudniških objektov se 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 odlagališči hidrometalurške jalovine Boršt in odlagališče jamske izkopenine Jazbec. Na odlagališčih Jazbec in Boršt so v obdobju 2008 - 2010 potekale aktivnosti končne ureditve odlagališča (preurejanje površine, vgradnja končne prekrivke, drenaže). Odlagališče Jazbec so v letu 2008 v celoti prekrili s končno prekrivko, v letu 2009 pa še odlagališče Boršt. Posledica prekrivanja so zmanjšane ekshalacije radona in nizke izmerjene koncentracije radona na obeh odlagališčih.

V letu 2011 so potekale meritve koncentracije radona na vseh rednih lokacijah. Glede na vsa nihanja v koncentraciji radona po posameznih lokacijah v zadnjih letih, glede na to, da so zapiralna dela praktično končana in ni bilo večjih posegov na odlagališčih Jazbec in Boršt v 2009 in 2010, lahko zaključimo, 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 povečanim 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 omogoča več izračuna dodatnega prispevka RŽV na osnovi primerjave izmerjenih vrednosti v Gorenji vasi in Gorenji Dobravi. RŽV je v 2010 naročil študijo [1], ki predlaga drugačen način ocenjevanja prispevka iz izmerjenih koncentracij na odlagališču Jazbec v obdobju 1991-1995 ter izmerjenih koncentracij v tekočem letu. Z uporabo takšne metodologije je ocenjeni prispevek rudniškega radona v letu 2011 3,0 Bq/m³ in je

podobno nizek kot v obdobju 2008-2010. K celotni koncentraciji radona prispeva 10 - 15 odstotkov, do leta 2008 pa smo ta prispevek cenili na četrtnino. V letih obratovanja rudnika se je povečanje koncentracije radona gibalo med 6,2-9,3 Bq/m³.

Povprečne letne vrednosti koncentracij Rn-222 se v dolinah Brebovščice in Todraščice gibljejo med 25-30 Bq/m³, v dolini reke Sore pa okoli 20 Bq/m³.

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 Brebovščice in Todraščice. Radonski tok nato potuje s Poljansko Soro navzdol in ne seže po toku navzgor do Gorenje vasi. V ozkem pasu se ob reki razteza do razdalje 3-4 km od rudnika [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 odlagališč na Jazbecu in Borštu zvišujejo vsebnost radioaktivnih snovi v površinskih vodah okoli rudnika, to je v Todraščici in Brebovščici. Glavni vir onesnaževanja z uranom je jamska voda, izcedne vode odlagališča Boršt in odlagališča Jazbec po izvedenih zapiralnih delih 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 Todraščici, vendar je pretok Todraščice 6-7 x manjši kot pretok Brebovščice. Skupna aktivnost je tako večja v Brebovščici.

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

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

Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 – 2008 pa je vidno povečanje koncentracije U-238 v Todraščici, kar je posledica intenzivnih del na odlagališču Boršt, predvsem izvedba dodatnih drenažnih sistemov v odlagališču.

Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici se z leti zmanjšujejo in so bile v letu 2009 najnižje od zaprtja rudnika. Z izvedenimi zapiralnimi deli na odlagališčih 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 Brebovščice so v letu 2011 nižje ali pa na ravni povprečja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so v letih 2007 in 2008 višje od povprečja, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih.

Meritev koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih iz Todraščici v 2011 ni bilo. So pa koncentracije v 2009 in 2010 občutno 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 Todraščice koncentracije Pb-210 in Ra-226 niso večje kot v sedimentih Brebovščice, kar je bilo očitno pred letom 2005.

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

5. Vsebnost Ra-226 in Pb-210 v ribah iz vodotokov, kamor se stekajo tekoči izpusti iz rudnika in odlagališč 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 večjo vsebnostjo dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste. Do kontaminacije kmetijskih pridelkov pride predvsem po zračni prenosni poti. Radioaktivni delci se usedajo na zunanje dele rastlin ali na zemljo od koder pridejo v globino in preko korenin v rastlino. S prenehanjem delovanja rudnika se je koncentracija radionuklidov v trdnih delcih občutno 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 2011 prejeli otroci stari eno leto. Za njih smo upoštevali, da uživajo le mleko iz okolice RŽV. Po letu 2008 je v 2011 ponovno izvedel meritve vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka iz vplivnega območja RŽV z bolj natančnimi metodami, kot smo jih uporabljali pred letom 2005. To je omogočilo bolj natančno oceno doze zaradi ingestije mleka. V primerjavi z ocenjenim prispevkom v letu 2008, je prispevek k dozi v 2011 nekajkrat višji.

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. V letu 2010 v okolici odlagališč nismo več izmerili povečanega sevanja, ki bilo posledica sevanja odlagališč. Enako velja za 2011. Izmerjeni nivoji zunanjega sevanja na samih odlagališčih so bili na nivoju naravnega ozadja.

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

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

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referenčne skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2011 ocenili na 0,097 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,144 mSv in za otroke stare 1 leto 0,130 mSv. Razviden je padec doze po letu 2000. V letu 2007 smo pri oceni doze začeli uporabljati novo metodologijo in ocenili doze za tri starostne skupine: odrasle, otroke stare 10 let in otroke stare 1 leto.

Izračunani dodatni prispevek k efektivni dozi okolišnega prebivalstva, zaradi posledice rudarjenja in predelave uranove rude, je po letu 2008 nekajkrat manjši od ocen v preteklih letih. Na zmanjšanje vplivajo obsežna zapiralna dela in verjetno tudi spremenjene klimatske razmere, ki vplivajo na razširjanje radona iz rudniških virov. Prejeta doza (0,097 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:

- *Predlagamo spremljanje koncentracij radona z detektorji sledi nad in pod Gorenjo Dobravo - nadaljevanje spremljanja na šestih dodatnih lokacijah z namenom potrjevanja nizkih vrednosti v vplivnem območju rudnika Žirovski vrh. Iz dosedanjih meritev izhaja, da so koncentracije radona v Brebovnici, torej po dolini Todraščice navzgor in nad Gorenjo vasjo po dolini reke Sore, lahko tudi višje kot npr. pod Gorenjo vasjo v dolini reke Sore. Glede na to, da so bile meritve izvedene v 2009 in 2010 je smiselno, da se ponovno izvedejo ob zaključku predhodnega petletnega obdobja, to je v 2013 in 2014.*
- *Predlagamo da se redno spremlja ekshalacijo radona iz odlagališč in potrjuje majhen vpliv na koncentracije radona v dolini Brebovščice in Todraščice.*
- *Predlagamo, da bi se večkrat letno, v stabilnem vremenu, izvedle meritve koncentracije radona z detektorji na aktivno oglje. Meritve dajo podatke le o dvo ali tro dnevnih koncentracijah radona, a lahko iz razlike koncentracij ugotavljamo prispevek RŽV. Predlagamo spremljanje koncentracij z detektorji sledi na lokaciji Jazbec MP, Todraž, Gorenja Dobrava in Gorenja vas. S temi meritvami bi skušali potrditi novo metodo ocenjevanja doz.*

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 vzorčenja: Gorenja Dobrava (MP)

RADIONUKLID	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
²³⁸ U	0,004 ± 0,005	0,006 ± 0,005	0,013 ± 0,008	0,011 ± 0,003
²²⁶ Ra	0,0028 ± 0,0005	0,0042 ± 0,0005	0,003 ± 0,0007	0,0030 ± 0,0004
²¹⁰ 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 odlagališčiu

Boršt

Mesto vzorčenja: Boršt (MP)

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

V.1. ZRAK

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

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

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 2. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 3. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 4. četrletje Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
DOLINA BREBOVŠČICE					
Brebovnica (Kovač)	35 ± 6	20 ± 4	36 ± 5	33 ± 5	31 ± 5
Pod transportnim trakom	45 ± 7	30 ± 5	46 ± 7	35 ± 5	39 ± 6
Todraž	26 ± 5	22 ± 4	28 ± 4	31 ± 5	27 ± 4
Gorenja Dobrava	14 ± 3	19 ± 4	28 ± 4	29 ± 5	
Gorenja Dobrava	27 ± 5	19 ± 4	28 ± 4	29 ± 5	
Gorenja Dobrava	27 ± 5	21 ± 4	27 ± 4	34 ± 5	
Gorenja Dobrava povprečje	23 ± 4	20 ± 4	28 ± 4	30 ± 5	25 ± 4
Dolenja Dobrava	20 ± 4	16 ± 3	25 ± 4	29 ± 5	23 ± 4
Gorenja vas (MP, Brence)	21 ± 4	15 ± 3	25 ± 4	24 ± 5	
Gorenja vas (MP, Brence)	19 ± 4	15 ± 3	24 ± 4	24 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence)	22 ± 4	17 ± 4	22 ± 4	24 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence) povprečje	21 ± 4	16 ± 3	24 ± 4	24 ± 4	21 ± 4
ZVD- Ljubljana*	18 ± 4	13 ± 3	24 ± 4	19 ± 4	19 ± 4

DOLINA TODRAŠČICE

Bačenski mlin	33 ± 5	27 ± 5	38 ± 5	37 ± 5	34 ± 5
---------------	--------	--------	--------	--------	--------

JALOVIŠČI JAZBEC IN BORŠT

Jazbec , SV brežina odlagališča, zgoraj	23 ± 4	14 ± 3	23 ± 4	34 ± 5	23 ± 4
MP Boršt	24 ± 4	16 ± 3	26 ± 4	37 ± 5	26 ± 4

* Primerjalna lokacija

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

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

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 2. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 3. četrletje Bq/m ³	Koncentracija 4. četrletje Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
MP Jazbec - črpalka	29 ± 5	25 ± 5	38 ± 5	25 ± 5	29 ± 5
SV rob odlagališča	23 ± 4	14 ± 3	23 ± 4	34 ± 5	23 ± 4
JZ rob odlagališča	19 ± 4	12 ± 3	24 ± 4	28 ± 5	21 ± 4
Travnik pod domačijo Podleš	26 ± 5	13 ± 3	29 ± 4	27 ± 5	24 ± 4
Domačija Podlešan	16 ± 3	10 ± 2	14 ± 3	21 ± 4	15 ± 3
Domačija Kašec	17 ± 3	11 ± 3	25 ± 4	19 ± 4	18 ± 3
Boršt, ovinek-most	18 ± 4	22 ± 4	32 ± 5	24 ± 4	24 ± 4
Boršt zgoraj	24 ± 4	9 ± 2	30 ± 4	33 ± 6	24 ± 4
Boršt etaža	40 ± 6	13 ± 3	17 ± 4	47 ± 6	29 ± 5
MP Boršt	24 ± 4	16 ± 3	26 ± 4	37 ± 5	
Kozolec Potokar	24 ± 4	16 ± 3	23 ± 4	32 ± 5	24 ± 4
Bačenski mlin	33 ± 5	27 ± 5	38 ± 5	37 ± 5	34 ± 5

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

Dodatne meritve v okolici RŽV, ki jih je RŽV izvedel poleg rednega programa

Merilno mesto	Koncentracija 1. četrtnje Bq/m ³	Koncentracija 2. četrtnje Bq/m ³	Koncentracija 3. četrtnje Bq/m ³	Koncentracija 4. četrtnje Bq/m ³	Koncentracija letno povprečje Bq/m ³
Gorenja vas, Vršajn	25 ± 5	16 ± 3	25 ± 4	29 ± 5	
Gorenja vas, Vršajn	20 ± 4	16 ± 3	21 ± 4	28 ± 5	
Gorenja vas, Vršajn povprečje	23 ± 4	16 ± 3	23 ± 4	28 ± 5	23 ± 4,0
Srednja vas Čadež	25 ± 5	20 ± 4	22 ± 4	27 ± 5	
Srednja vas Čadež	20 ± 4	19 ± 4	24 ± 4	24 ± 4	
Srednja vas Čadež povprečje	22 ± 4	20 ± 4	23 ± 4	26 ± 4	23 ± 4,0

V.1 ZRAK

Koncentracije radona v okolici Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji

Gorenji vasi ter v Ljubljani

Prerez v profilu jalovišča Boršt in doline Todraščice

Leto: 2011

Tabela V.1.5. Koncentracije radona po dolini Todraščice - višinski prerez

Datum merjenja		28.06. - 30.06.	22.11.-24.11.
	Nad. viš.	koncentracija	koncentracija
Merilno mesto	m	Bq/m ³	Bq/m ³
Boršt zgoraj	585	10,6 ± 1,6	69,7 ± 10,8
Boršt MP	537	23,6 ± 3,6	45,0 ± 7,1
Boršt, kozolec Potokar	520	17,2 ± 2,6	54,5 ± 8,6
Boršt, pri Potokarju	485	30,4 ± 4,7	43,2 ± 6,7
Debelo brdo	575	8,3 ± 1,3	41,4 ± 6,5
Bačenski mlin	457	30,6 ± 4,8	45,8 ± 7,2
Todraž	411	29,4 ± 4,6	35,4 ± 5,5
Gorenja Dobrava	405	23,8 ± 3,9	37,7 ± 5,9
Dolenja Dobrava	403	24,2 ± 3,9	43,2 ± 6,9
Gorenja vas	407	20,8 ± 3,3	36,2 ± 5,8
Srednja vas - Čadež	392	23,4 ± 3,6	55,5 ± 8,8
ZVD - Ljubljana	300	8,8 ± 1,4	37,9 ± 5,9

V.1 ZRAK

**Koncentracije radona znotraj kontroliranega področja Rudnika Žirovski vrh
in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi
Prerez v profilu odlagališča Jazbec
Leto: 2011**

Tabela V.1.6. Koncentracije radona na odlagališču Jazbec - višinski prerez

Datum merjenja		28.06. - 30.06.	22.11.-24.11.
	Nad. viš.	koncentracija	koncentracija
Merilno mesto	m	Bq/m ³	Bq/m ³
Jazbec, travnik pod domačijo Podlešan	512	20,4 ± 3,2	46,3 ± 7,2
Jazbec, ograja nad vhodom v P-11	496	24,1 ± 3,8	38,8 ± 6,2
Jazbec, MP	430	44,1 ± 6,9	40,7 ± 6,3
Pod transportnim trakom	422	39,9 ± 6,5	46,1 ± 7,3
Gorenja vas	407	20,8 ± 3,3	36,2 ± 5,8

V.1 ZRAK

**Koncentracije radona znotraj kontroliranega področja Rudnika Žirovski vrh
in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi
Prerez v profilu odlagališča Boršt
Leto: 2011**

Tabela V.1.7. Koncentracije radona na odlagališču Boršt - višinski prerez

Datum merjenja		28.06. - 30.06.	22.11.-24.11.
	Nad. viš.	koncentracija	koncentracija
Merilno mesto	m	Bq/m ³	Bq/m ³
Boršt zgoraj	585	10,6 ± 1,6	69,7 ± 10,8
Boršt MP	537	23,6 ± 3,6	45,0 ± 7,1
Boršt, kozolec Potokar	520	17,2 ± 2,6	54,5 ± 8,6
Boršt, pri Potokarju	485	30,4 ± 4,7	43,2 ± 6,7
Gorenja vas	402	20,8 ± 3,3	36,2 ± 5,8

V.2 VODA

**Tabela V.2.1: Koncentracija raztopljenega U-238 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po)
in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok
Todraščice v letu 2011**

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
Januar	108 ± 5	0,64	25,2 ± 2,0	0,14
Februar	164 ± 7	0,29	25,0 ± 2,0	0,06
Marec	150 ± 5	0,93	26,3 ± 3,0	0,19
April	183 ± 8	0,21	34,0 ± 2,0	0,04
Maj	250 ± 4	0,21	51 ± 5	0,04
Junij	175 ± 4	0,24	80,0 ± 5,0	0,05
Julij	236 ± 3	0,30	88,0 ± 4,0	0,06
Avgust	380 ± 5	0,24	117,0 ± 4,0	0,05
September	319 ± 4	1,06	50,0 ± 5,0	0,21
Oktober	228 ± 4	0,62	40,0 ± 5,0	0,12
November	158 ± 4	0,21	29,0 ± 6,0	0,04
December	120 ± 4	0,65	32,0 ± 5,0	0,12
Povprečje	206 ± 8	0,47	50 ± 2	0,09

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

V.2 VODA

Tabela V.2.2: Koncentracija raztopljenega Ra-226 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po) in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok Todraščice v letu 2011

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)	Bq/m ³	Pretok (m ³ /s)
	<i>Raztopljen</i>		<i>Raztopljen</i>	
Januar	2,6 ± 0,2	0,64	2,1 ± 0,2	0,14
Februar	4,3 ± 0,4	0,29	2,5 ± 0,2	0,06
Marec	3,4 ± 0,2	0,93	2,1 ± 0,1	0,19
April	3,5 ± 0,3	0,21	2,3 ± 0,2	0,04
Maj	4,5 ± 0,3	0,21	3 ± 0,3	0,04
Junij	3,7 ± 0,3	0,24	3,4 ± 0,3	0,05
Julij	5,7 ± 0,3	0,30	3,8 ± 0,2	0,06
Avgust	4,2 ± 0,3	0,24	4,8 ± 0,3	0,05
September	4,9 ± 0,3	1,06	3,7 ± 0,2	0,21
Oktober	4,5 ± 0,3	0,62	3,5 ± 0,2	0,12
November	7,4 ± 0,3	0,21	2,8 ± 0,2	0,04
December	3,2 ± 0,3	0,65	2,4 ± 0,2	0,12
Povprečje	4,3 ± 0,3	0,47	3,0 ± 0,2	0,09

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

V.2 VODA

**Tabela V.2.3: Koncentracija raztopljenega Pb-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po)
in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico (Todraščica po) ter povprečni mesečni pretok
Todraščice v letu 2011**

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
Januar	2,6 ± 1,8	0,64		0,14
Februar	2,4 ± 1,1	0,29		0,06
Marec	5,2 ± 1,8	0,93		0,19
April	7,7 ± 2,4	0,21		0,04
Maj	5,7 ± 1,7	0,21		0,04
Junij	2,2 ± 1,3	0,24		0,05
Julij	4,4 ± 1,5	0,30		0,06
Avgust	3,4 ± 2,3	0,24		0,05
September	4,2 ± 1,8	1,06		0,21
Oktober	2,6 ± 1,2	0,62		0,12
November	1,3 ± 0,6	0,21		0,04
December	3,6 ± 1,2	0,65		0,12
I. kvartal			3 ± 0,8	0,13
II. kvartal			1,7 ± 0,9	0,04
III. kvartal			3,5 ± 1,3	0,11
IV. kvartal			2,2 ± 1,4	0,09
Povprečje	3,8 ± 1,8	0,47	2,6 ± 1,1	0,09

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

V.2 VODA

**Tabela V.2.4: Koncentracija raztopljenega Po-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi (Brebovščica po)
ter povprečni četrtletni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2011**

	BREBOVČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	1 ± 0,1	0,62		0,13
II. kvartal	2,7 ± 1	0,22		0,04
III. kvartal	2,3 ± 0,2	0,53		0,11
IV. kvartal	1,8 ± 0,2	0,49		0,09
Povprečje	2,0 ± 0,3	0,47		0,09

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 2011

Oznaka vrtine	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Todraž			
BS 30	< 10	7,2 ± 0,5	< 2,5
Mrzlek	201 ± 4	4,0 ± 0,3	7,0 ± 1,7
Vodnjaki			
Dolenja Dobrava	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Drmota	36 ± 5	5,8 ± 0,3	4,0 ± 2,5

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

V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Brebovščica po

**Tabela V.3.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210, Th-230 v
sedimentih Brebovščice po v letu 2011**

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

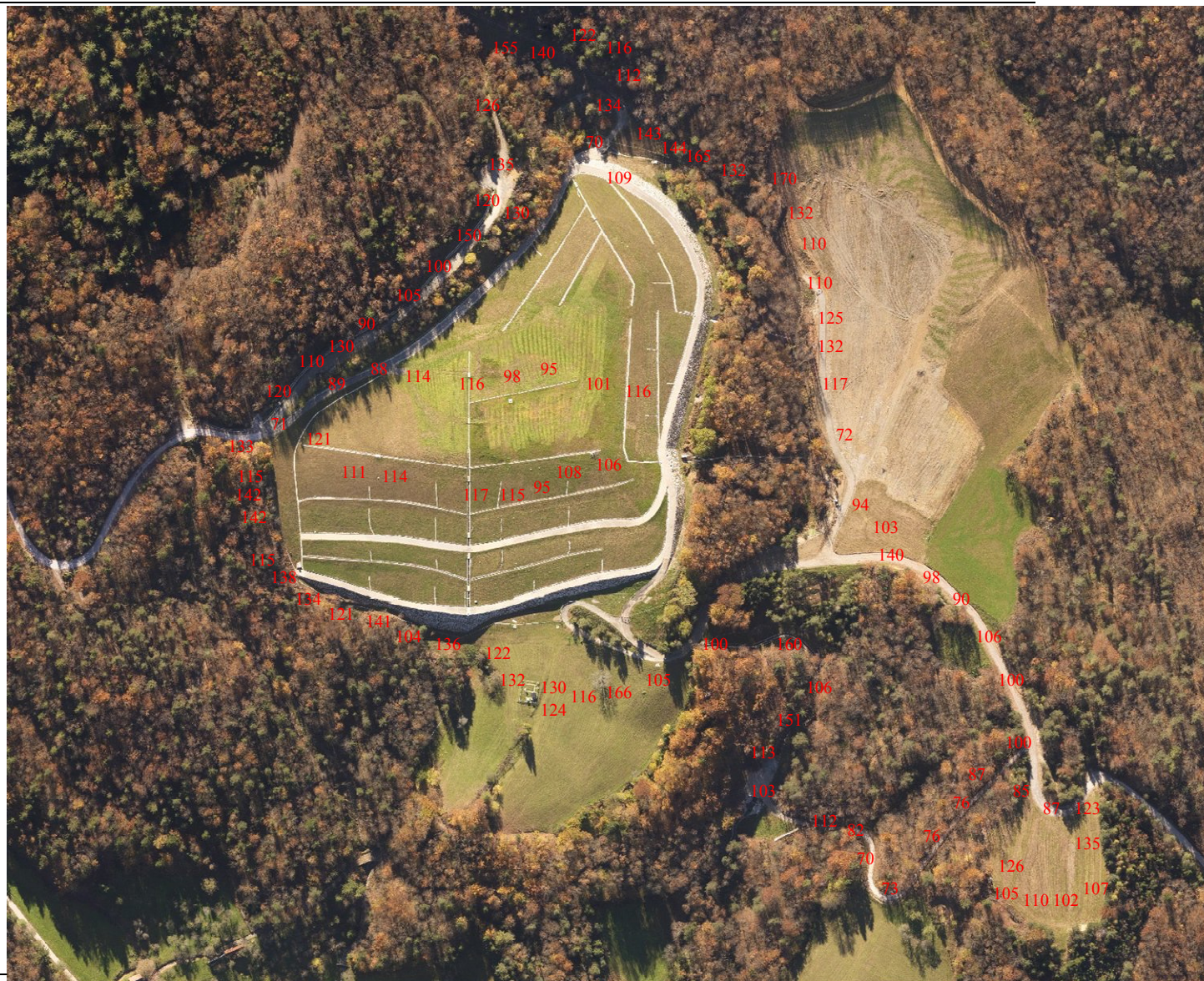
IZOTOP	1. polletje			2. polletje		
	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	63	±	4	61	±	4
Ra-226	60	±	6	78	±	6
Pb-210	73	±	4	80	±	5
Th-230	58	±	20	79	±	20

V.5 HRANA - PRIDELKI, KRMA

Tabela V.4.1: Vsebnost naravnih radionuklidov U-238, Ra-226, Pb-210 v mleku na lokacijah Žirovski vrh (okolica Jazbeca), Gorenja Dobrava, Dolenja Dobrava in referenčno mesto
Rezultati so podani v Bq/kg sveže mase

Oznaka vzorčevalnega mesta	Koncentracija		
	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)
Žirovski vrh (okolica Jazbeca)	0,0023 ± 0,0004	0,0214 ± 0,0021	< 0,010
Gorenja Dobrava	0,0029 ± 0,0003	0,0139 ± 0,0009	0,054 ± 0,018
Dolenja Dobrava	0,0094 ± 0,0007	0,0693 ± 0,0047	0,076 ± 0,013
Referenčno mesto	0,0024 ± 0,0003	0,0074 ± 0,0008	0,028 ± 0,014

Tabela V.5.1 Hitrosti doz na odlagališču Boršt (nSv/h), 18.10.2011, Merilnik Automes AD6150b



V.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

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

Rezultati so podani v mSv

	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	Letna doza
Todraž	0,234	0,246	0,266	0,210	0,956
Jazbec	0,308	0,356	0,359	0,237	1,261
Boršt	0,252	0,298	0,294	0,290	1,135

LITERATURA

- [1] M. Križman, Metodologija za oceno Rn-222 prispevka RUŽV, Ljubljana, 2010.
- [2] G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 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 ionizirajočimi 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 BaSO₄ coprecipitation for the preparation of alpha-spectrometric sources, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol.223, No.1-2 (1997), 133-137.
- [8] BENEDIK, Ljudmila, VREČEK, Polona. Determination of [²¹⁰Pb and [²¹⁰Po 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 poročila IJS 1990-1995.
- [11] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [12] Poročila o monitoringu radioaktivnosti v življenjskem 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 referenčne skupine prebivalstva na območju 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] Assesing Dose of the Representative Person for the Purpuse of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection, ICRP Publication 101, Elsevier, 2006
- [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
G. Omahen, B. Smodiš, M. Štok, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2007