

IJS Delovno Poročilo
IJS-DP-štev. 10120
Ljubljana, februar 2009

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA
ŽIROVSKI VRH MED IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE
ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT
TER
OCENA VPLIVOV NA OKOLJE**

POROČILO ZA LETO 2008



Ljubljana, februar 2009

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





Naročnik: Rudnik Žirovski vrh, javno podjetje za zapiranje rudnika, d.o.o.
Todraž 1, 4224 Gorenja vas

Izvajalca: Institut »Jožef Stefan«
Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.
Chengdujska cesta 25, 1000 Ljubljana

Pogodba št.: U3-BR-O2-7/08

Nosilec naloge: doc. dr. Borut Smodiš

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti okolja Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem končne ureditve odlagališč Jazbec in Boršt ter ocena vplivov na okolje

Avtorji poročila: dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.
doc. dr. Borut Smodiš, univ. dipl. kem.
Marko Štrok, univ. dipl.inž. kem. tehnol.

Izvajalci meritev:
Institut »Jožef Stefan«: doc. dr. Borut Smodiš, Marko Štrok, univ.dipl. inž. kem. tehnol.,
dr. Benjamin Zorko, dr. Marjan Nečemer, mag. Branko Vodenik,
Janja Smrke, Stojan Žigon

Zavod za varstvo pri delu: dr. Gregor Omahen, dr. Marko Giacomelli, Peter Jovanovič, inž.
fiz., Dušan Konda, Majda Levstek, Lili Peršin

Številka delovnega poročila: IJS-DP-10120

Kopije: naročnik (6 x)
IJS knjižnica (1 x)
QA arhiv odseka (1 x + original)
nosilec naloge (1 x)
izvajalci (5 x)

Komisija za pregled: predsednik: dr. Zvonka Jeran

Nosilec naloge: doc. dr. Borut Smodiš

Vodja organizacijske enote: prof. dr. Milena Horvat

IJS-DP-10120



NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH MED
IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT TER
OCENA VPLIVOV NA OKOLJE IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE**

Avtorji:

dr. Gregor Omahen, doc. dr. Borut Smodiš, Marko Štok

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 2008 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,107 mSv, za otroka starega 10 let 0,132 mSv in za otroka starega 1 leto 0,089 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., Borut Smodiš, Ph.D., Marko Štok

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 2008 was about 0,107 mSv, for 10 years old child 0,132 mSv and for 1 year old child 0,089 mSv. This represents approximately one tenth of recommended dose limit for public exposure.

KAZALO

UVOD	2
I. METODE MERJENJA	4
II. POGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUŽV MED IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2008	7
III. OVREDNOTENJE REZULTATOV	13
III.1 ZRAK.....	13
III.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210.....	13
III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju.....	15
III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov	22
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA	25
III.2.1 Vodotoki	25
III.2.2 Podtalnica	29
III.3 SEDIMENTI	30
III.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	32
III.4.1 Zunanje sevanje v okolici odlagališča HMJ na Borštu.....	33
III.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča jamske jalovine Jazbec.....	33
IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA.....	34
IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	34
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	34
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	35
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	36
IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....	38
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana	38
IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda	40
IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....	41
IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	41
IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci.....	41
IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV.....	42
V. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE.....	44
VI. PREDLOGI.....	48
VII.REZULTATI MERITEV	49
VIII. LITERATURA	74

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 izkopsnine 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 zunanjskega sevanja precej zmanjšan. Opuščena so bila vzorčenja in analize, pri katerih so bile vrednosti analiz vzorcev v preteklih letih na meji detekcije uporabljenih metod, prispevki k dozi pa majhni oziroma zanemarljivi in se v zadnjih letih niso spreminjali. Pri vseh je bil opazen trend upadanja zaradi opustitve izvajanja del in postopnega saniranja rudniških objektov. 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 2008 je bil, glede na delež v dodatnem prispevku k dozi prebivalstva iz virov RŽV, merjenje koncentracije radona. Merilna mesta so bila postavljena na 6 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 2008 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 zelo majhen, saj je radioaktivnost v površinskih vodah od 2-10 % mejne vrednosti za pitno vodo (Ur.L RS št. 49, 2004, [2]). V program so bile vključene meritve sedimentov v Brebovščici po dotoku vseh iztokov iz RŽV. Meritev sedimentov v Todraščici in Sori program nadzora po letu 2005 ne zajema.

V letu 2008 smo, tako kot v letih 1992 - 2007, izvedli meritve zunanjšega gama sevanja v okolici odlagališč jamske jalovine. 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 preteklih letih, temveč le vsake tri mesece. Meritve hitrosti doz smo izvedli le na odlagališčih Jazbec in Boršt, medtem ko meritve na 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. Prispevek k dozi prebivalstva zaradi zunanjšega sevanja gama iz odlagališč je sicer majhen, lahko pa s temi meritvami določimo do kje sega povečano sevanje gama v okolici odlagališč in ali se ta vpliv zmanjšuje zaradi del na odlagališčih.

Program v letu 2008 sta izvajala Institut "Jožef Stefan" kot nosilec projekta in ZVD Zavod za varstvo pri delu kot podizvajalec, ki 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 2008 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 2008 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 [3]).

I. METODE MERJENJA

Metode vzorčevanja in določevanja radionuklidov se v letu 2008 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 upelimo 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 $10\,000 \text{ m}^3$ 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 FK iz Karlsruhe-a v Nemčiji. Kalibrirani so bili v centralnem nemškem laboratoriju za umerjanja PTB v Braunschweigu in na mednarodnih interkalibracijah [4][5]. 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 Strahlenschutz, na interkalibracijah evropske skupnosti v NRPB v Veliki Britaniji in redno preverjeni s primerjalnimi laboratorijskimi meritvami. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025.

I.2 Vode

Vodo iz potoka Brebovščica smo vzorčevali enkrat dnevno vsak dan v letu. Vsakič smo odvzeli $1,6 \text{ L}$ 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 - $0,45 \mu\text{m}$), nakisali s koncentrirano dušikovo (V) kislino ter shranili za kasnejšo laboratorijsko analizo.

I.2.1 Raztopljeni U-238 smo v vzorcih površinskih vod 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]. Kemijski 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, oetne kisline, Na_2SO_4 in BaSO_4 . Oborino smo nato prefiltrirali skozi 0,45 μm filter. Tako pripravljene vzorce 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 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 umerjmo 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 $\mu\text{Sv/h}$.

**II. POGRAM NADZORA RADIOAKTIVNOSTI OKOLJA RUŽV MED IZVAJANJEM KONČNE UREDITVE
UREDITVE ODLAGALIŠČ JAZBEC IN BORŠT, LETO 2008**

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
1. ZRAK					
1.1. Dolgoživi radionuklidi U, Ra-226, Pb-210 zračni filtri (dnevni vzorci) VL gama spektrometrija	MP Todraž MP G. Dobrava MP Bačne	trdni delci	kontinuirno črpanje zraka	kvartalni sestavljeni vzorci	4x1 4x1 4x1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
1.2. Radon (Rn-222)	MP Gorenja vas	zrak	profil po dolini in višinski profil, stabilni vremenski pogoji – temperaturni obrat (poleti, pozimi)	polletno	2x1
1.2.1. Rn-222	MP D. Dobrava				2x1
	MP G. Dobrava				2x1
	MP Todraž				2x1
	MP Transportni trak				2x1
	MP Brebovnica				2x1
	MP Bačenski mlin				2x1
	MP Debelo brdo				2x1
	Referenčna lokacija Ljubljana			2x1	
	metoda z ogljenimi adsorberji (dvodnevno povprečje), VL gama spektrometrija			MP Jazbec, spodnji rob odlagal.	polletno
MM Jazbec, zgornji rob brežine				2x1	
MM Jazbec, plato pred P-11				2x1	
MM Jazbec, hiša Podlešan				2x1	
MM Potokar				2x1	
MM Boršt, sp. rob travnika				2x1	
MP Boršt, spod. rob odlagal.				2x1	
MM Boršt, zgornja cesta				2x1	

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 MP Brebovnica MP Bačenski mlin MP Debelo brdo Referenčna lokacija Ljubljana	zrak	kontinuirno vzorčevanje	kvartalno	4x3 4x1 4x3 4x1 4x1 4x1 4x1 4x1 4x1
1. ZRAK BIOINDIKATORJI					
1.8. U, Ra-226, Pb-210 VL spektrometrija gama	Jazbec, neposredna okolica Boršt, neposredna okolica Referenčna točka	lišaji, mahovi (sestavljene vzorec)	sezonsko	sezonsko (jeseni)	1x1 1x1 1x1

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.	12x1
	MP Todraščica po				12x1
2.2. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	mesečno, komp.	12x1
	MP Todraščica po				12x1
2.3. Pb-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	mesečno, kompozitum	12x1
	MP Todraščica po				kvartalno, kompozitum 4x1
2.4. Po-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	kvartalno, kompozitum	4x1
2.5. Th-230 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	voda	kontinuirno, dnevno	kvartalno, kompozitum	4x1

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčevanja	Pogostost meritev, analiz	Letno število
2. VODE – PODTALNICA , IZVIRI					
2.6. U-238 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Vodnjak Drmota Dol. Dobrava Izvir Mrzlek Dol. Dobrava	voda	letno	letno	1x1 1x1 1x1
2.7. Ra-226 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Vodnjak Drmota Dol. Dobrava Izvir Mrzlek Dol. Dobrava	voda	letno	letno	1x1 1x1 1x1
2.8. Pb-210 raztopljen, specifična radiokemijska analiza	Piezometer BS-30 Vodnjak Drmota Dol. Dobrava Izvir Mrzlek Dol. Dobrava	voda	letno	letno	1x1 1x1 1x1
3. SEDIMENTI – BREBOVŠČICA					
3.1. U-238 VL spektrometrija gama	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.2. Ra-226, VL spektrometrija gama	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.3. Pb-210, VL spektrometrija gama	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.4. Th-230, VL spektrometrija gama	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1

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 MP Boršt, spodnji rob MP Todraž	zunanje sevanje	kontinuirno	kvartalno, TLD	4x1 4x1 4x1
5.2. Neposredna okolica odlagališč, posamezne merilne točke	Odlagališče Jazbec Odlagališče Boršt	zunanje sevanje	letno	letno, instrument	50x1 50x1

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. 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 2008 so zbrani v tabelah (Tabeli VII.1.1 in VII.1.2). Vrednosti dolgoživih radionuklidov v zraku so za Ra-226 in Pb-210 večinoma nižje ali blizu povprečnih vrednosti v obdobju 2003 – 2007, medtem ko so vrednosti U-238 na lokacijah Gorenja Dobrava, Debelo Brdo in Jazbec višje od povprečja. V letu 2008 so vrednosti U-238 in Ra-226 v zraku na merilni postaji na Borštu znatno nižje od povprečja v letih 2003-2007, čeprav so se na Borštu izvajala obsežna zapiralna dela. To pomeni, da so lahko povišane vrednosti urana v zraku v Gorenji Dobravi in Debelem Brdu verjetno posledica zapiralnih del na Jazbecu.

Merilni postaji na odlagališčih Jazbec in Boršt se nahajata na spodnjem robu odlagališča, da bi na ta način zajeli čim več prašnih delcev, ki se sproščajo na odlagališčih in usedajo na površine.

Za uran se koncentracije v Gorenji Dobravi in Todražu gibljejo med $0,003-0,035 \text{ mBq/m}^3$, za radij pa med $0,002$ in $0,012 \text{ mBq/m}^3$. Koncentracije urana in radija so v Todražu podobne povprečnim vrednostim iz obdobja 2001 – 2007. Primerjava koncentracij U-238 in Ra-226 v letu 2008 s koncentracijami v preteklih obdobjih je podana v tabeli (Tabela III-1), povprečne vrednosti po letih pa na slikah (Slika 1, Slika 2).

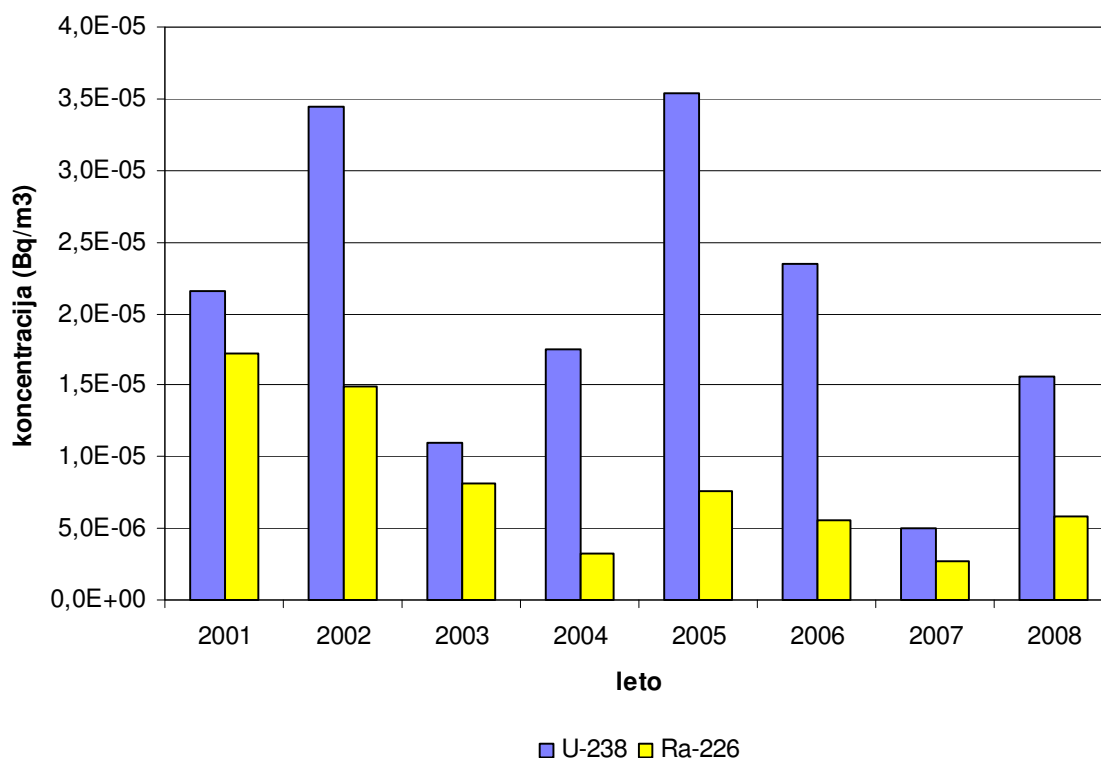
Koncentracije U-238 predstavljajo le nekaj desetink odstotka mejne izvedene koncentracije, ki jo določa *Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS št. 49/2004)*. Koncentracije Ra-226 so še manjše in predstavljajo le nekaj stotink odstotka mejne izpeljane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

Koncentracije Pb-210 v vzraku v okolici Rudnika Žirovski vrh so v okviru vrednosti iz preteklih let, v Todražu pa so nižje skoraj za faktor dva. Večji del Pb-210 v zraku v aerosolih

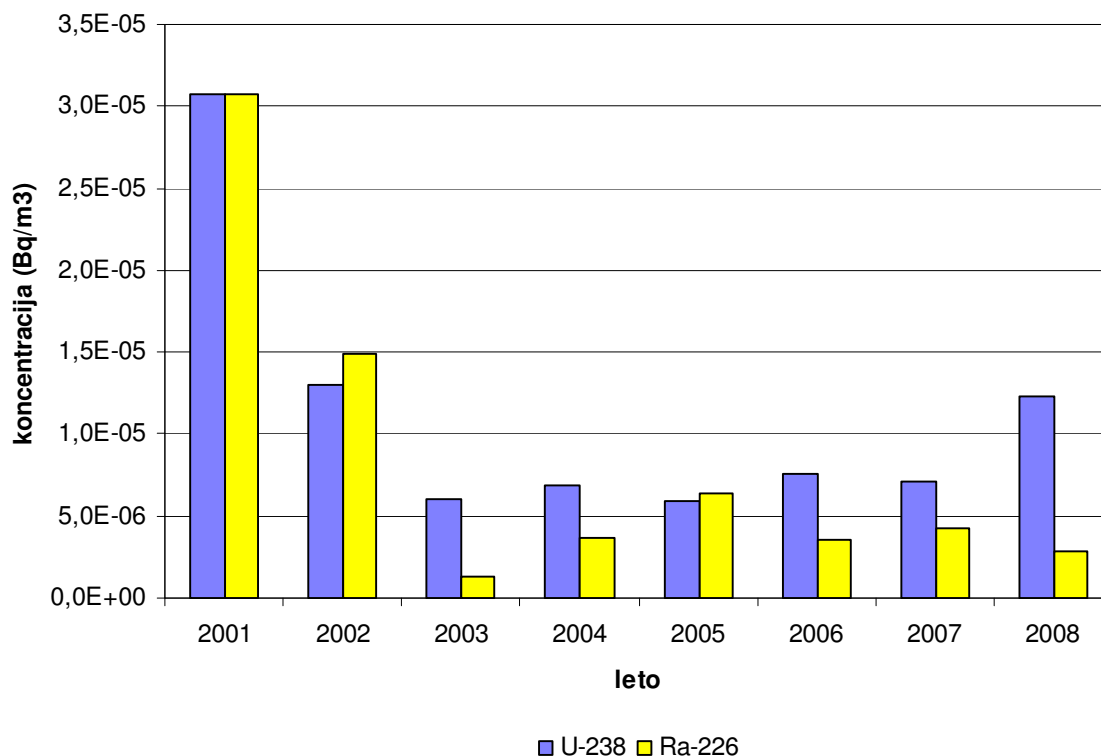
je posledica razpada radonovih potomcev v zraku, le manjši del izvira iz dolgoživih radionuklidov. Podobno kot v letu 2007 ugotavljamo, da so bile koncentracije Pb-210 v letu 2008 v Todražu, Gorenji Dobravi in Debelem Brdu nižje od povprečja zadnjih let, na Jazbecu in Borštu pa približno enake povprečju. Sicer pa je kontaminacija ozračja s Pb-210 rudniškega izvora 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	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Todraž								
U-238	0,05-0,10	0,004-0,089	0,007-0,018	0,003-0,033	0,003-0,078	0,012-0,038	0,002-0,008	0,007-0,035
Ra-226	0,03-0,06	0,001-0,047	0,003-0,014	0,001-0,009	0,001-0,016	0,004-0,009	0,002-0,004	0,002-0,012
Gorenja Dobrava								
U-238	0,03-0,08	0,002-0,027	0,001-0,011	0,001-0,018	0,006-0,009	0,005-0,011	0,003-0,011	0,003-0,019
Ra-226	0,02-0,04	0,001-0,039	0,003-0,011	0,001-0,010	0,001-0,002	0,001-0,007	0,002-0,006	0,002-0,004



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

III.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju

Emisijska vira Rn-222 na nadzorovanem področju sta:

- jamske izkopsnine na Jazbecu,
- odlagališče hidrometalurške jalovine na Borštu.

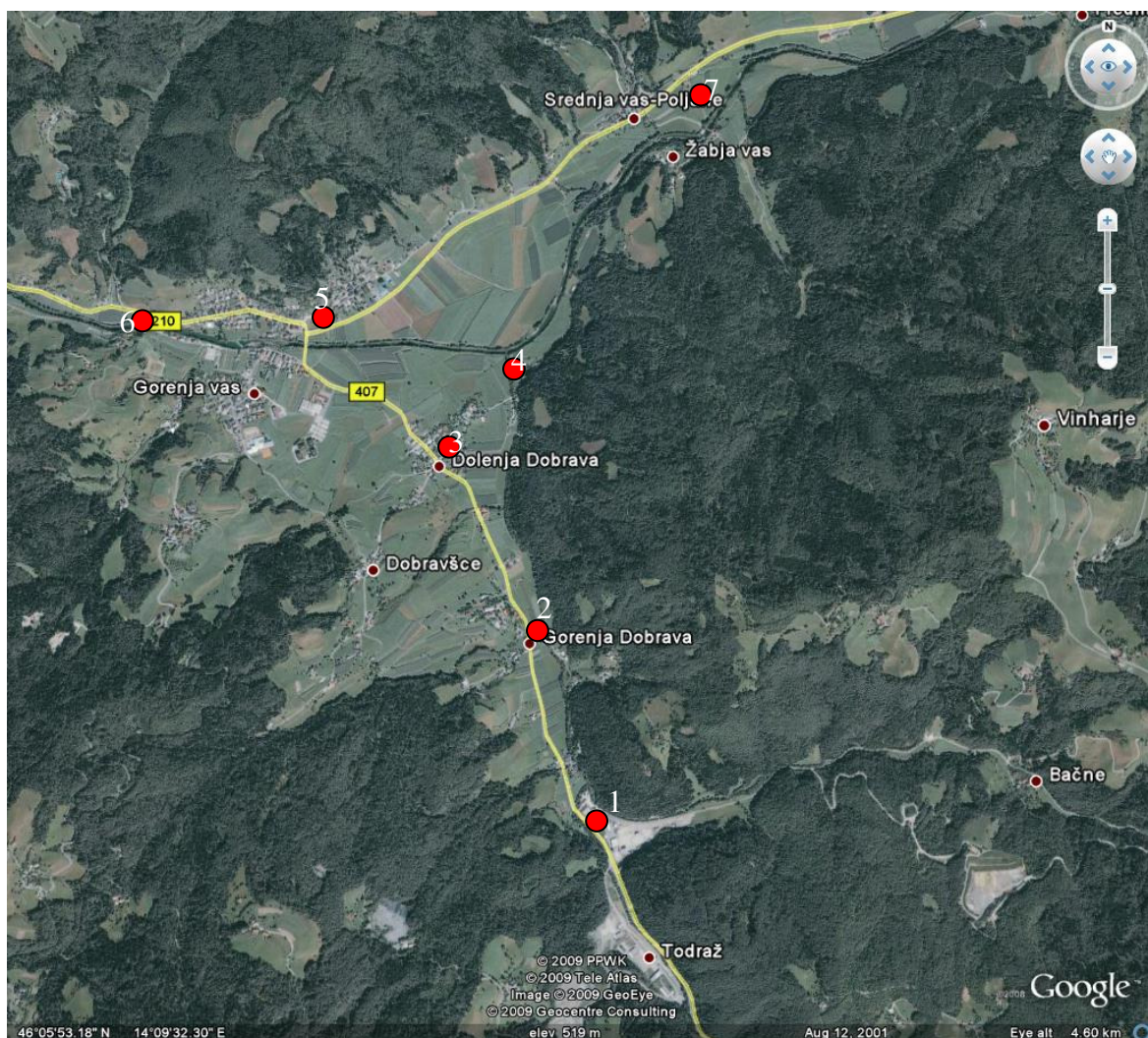
V letu 2000 je RŽV v propust odlagališča Jazbec vgradil zračno zadelko, ki je preprečila naravno zračenje skozi podkop. Odstranili so tudi nasutje jamske jalovine z neprekritih površin platoja P-10, kar ima od leta 2000 dalje za posledico manjše prispevke radona v okolje iz teh površin.

V letu 2007 je potekalo preoblikovanje JZ brežine in zgornje etaže odlagališča Jazbec, izdelovanje prekrivne plasti in zatravitev, tako da je bilo v letu 2007 pokrite 60% celotne površine odlagališča (zgornja etaža). V aprilu leta 2008 so na odlagališču Jazbec nadaljevali z vgradnjo prekrivke. Večino del so izvedli v prvi polovici leta, do novembra 2008 pa je bilo prekrito celotno odlagališče Jazbec. S tem se je ekshalacija radona iz 0,5 – 1,0 Bq/m²s zmanjšala na nivo naravnega ozadja (10⁻² Bq/m²s).

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 začelo prihiti do povečane ekshalacije radona (1 – 2 Bq/m²s).

na okoli $5 \text{ Bq/m}^2\text{s}$). 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 50% celotne površine odlagališča Boršt. Ekshalacija radona na prekriti površini je le še $0,01 - 0,1 \text{ Bq/m}^2\text{s}$.

V letu 2008 je RŽV, poleg rednih lokacij, izvajal meritve koncentracije radona z detektorji sledi na dodatnih lokacijah. Na sliki (Slika 3) so lokacije meritev z detektorji sledi v dolini Brebovnice.



Slika 3: Lokacije meritev koncentracije radona z detektorji sledi v dolini Brebovnice na zemljevidu Google maps. 1 – Todraž, 2 – Gorenja Dobrava, 3 – Dolenja Dobrava, 4 – Dolenja Dobrava Markelj (dodatna lokacija v 2008), 5 – Gorenja vas, 6 – Gorenja vas Ferlan (dodatna lokacija v 2008), 7 – Srednja vas Čadež (dodatna lokacija v 2008).

Redna lokacija v Gorenji vasi (lokacija št. 5) 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 letu 2008.

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

	1 – Todraž	2 - Gorenja Dobrava	3 - Dolenja Dobrava, redna lokacija	4 - Dolenja Dobrava, dodatna lokacija, Markelj	5 - Gorenja vas, redna lokacija	6 - Gorenja vas, dodatna lokacija, Ferlan	7 - Srednja vas
Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³)	40 ± 6	28 ± 5	27 ± 5	27 ± 4	30 ± 5	35 ± 5	25 ± 4

Koncentracija radona je največja v Todražu, v Gorenji in Dolenji Dobravi je skoraj enaka, nato pa ponovno naraste v Gorenji vasi. Zanimivo je, da je koncentracija radona višja po toku reke Sore navzgor, kjer tega ne bi pričakovali. V Srednji vasi pade na raven ozadja in so vrednosti skoraj enake kot v Ljubljani na lokaciji ZVD.

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 VII.1.3). V letu 2008 smo lokacijo meritev koncentracije radona na redni lokaciji v Gorenji vasi, zaradi potreb lastnika zemljišča predstavili 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. Visoke vrednosti koncentracije radona v Gorenji vasi niso pričakovane. Za razlago bi potrebovali večje število meritev po toku reke Sore navzgor. Predlagamo, da se izvede meritve koncentracije radona proti Hotavljam (3 lokacije), proti Hlavčim njivam (2 lokaciji) in proti Lajšam ter Dobravščam (4-6 lokacij). Obenem predlagamo meritve hitrosti in smeri vetra v dolini Brebovščice med Todražom in Gorenjo vasjo. Iz meritev bi lahko določili hitrost potovanja rudniškega radona in ugotovili kje naj bi bil prispevek rudniškega radona k obremenitvi prebivalstva največji. Domnevamo, da so se klimatske razmere v zadnjih 20 letih spremenile in morda vpliv rudniškega radona ni več največji v Gorenji Dobravi.

Zaradi spremenjene lokacije rednih meritev koncentracije radona v Gorenji vasi in nepričakovanih vrednosti koncentracij radona, smo v letu 2008 za ozadje vzeli izmerjene vrednosti koncentracije radona v Srednji vasi. Kot lokacijo na kateri naj bi bil prispevek rudniškega radona največji, smo še vedno vzeli lokacijo v Gorenji Dobravi, čeprav so se morda klimatske razmere od začetka 90-ih let, ko je to bilo ugotovljeno [10], spremenile.

$$\text{povečanje konc. Rn} - 222 = (28,4 \pm 4,7) - (25,1 \pm 4,3) \text{ Bq/m}^3 = 3,3 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3 \quad .$$

Prispevek rudnika k povečanim koncentracijam radona v okolju pod Žirovskim vrhom je v letu 2008 najmanjši vse od začetka obratovanja. V letu 2008 je RŽV s končno prekrivko prekril celotno odlagališče Jazbec ter 50% površine na odlagališču Boršt. To je močno vplivalo na

zmanjšanje emisij radona.

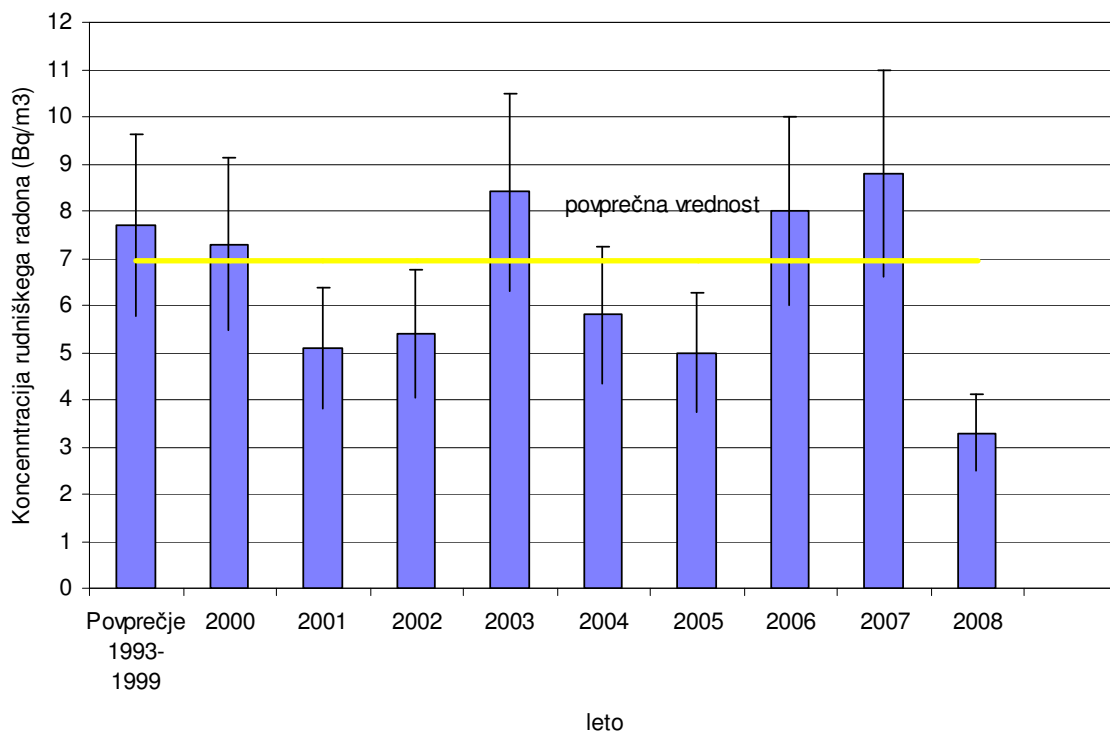
Zmanjšanje je opazno na merilnih postajah na odlagališču Jazbec in odlagališču Boršt. Na ostalih lokacijah večjih sprememb oziroma opaznega zmanjšanja koncentracije radona ni. Možno je, da so že vrednosti naravnega ozadja tako visoke, da vpliv rudnika, ki se zmanjšuje, postaja nemerljiv.

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 4) lahko ugotovimo, da se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirjajo na nižji ravni kot je bila pred letom 2000. Ocenjeni prispevek v letu 2008 je občutno nižje kot je bil pred tem. Prispevki k merilni negotovosti pred letom 2007 niso ocenjeni, so pa zelo podobni oceni za leto 2007.

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

Leto	Povprečje 1993-1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Prispevek RŽV	7,6	5,1	5,4	8,4	5,8	5,0	8,0	8,8 ± 2,2	3,3 ± 0,8



Slika 4: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2008 je $6,9 \text{ Bq/m}^3$.

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. Decembrska vrednost v Ljubljani je visoka v primerjavi z običajnimi vrednostmi, ki jih izmerimo na tej lokaciji. Pripisujemo jo neugodnim vremenskim razmeram (inverzija).

Tako kot v preteklih letih je v letu 2008 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 2008. Najnižje koncentracije v tem času namerimo nad inverzijsko mejo v Debelem Brdu, ki leži nad povprečno višino inverzijske meje.

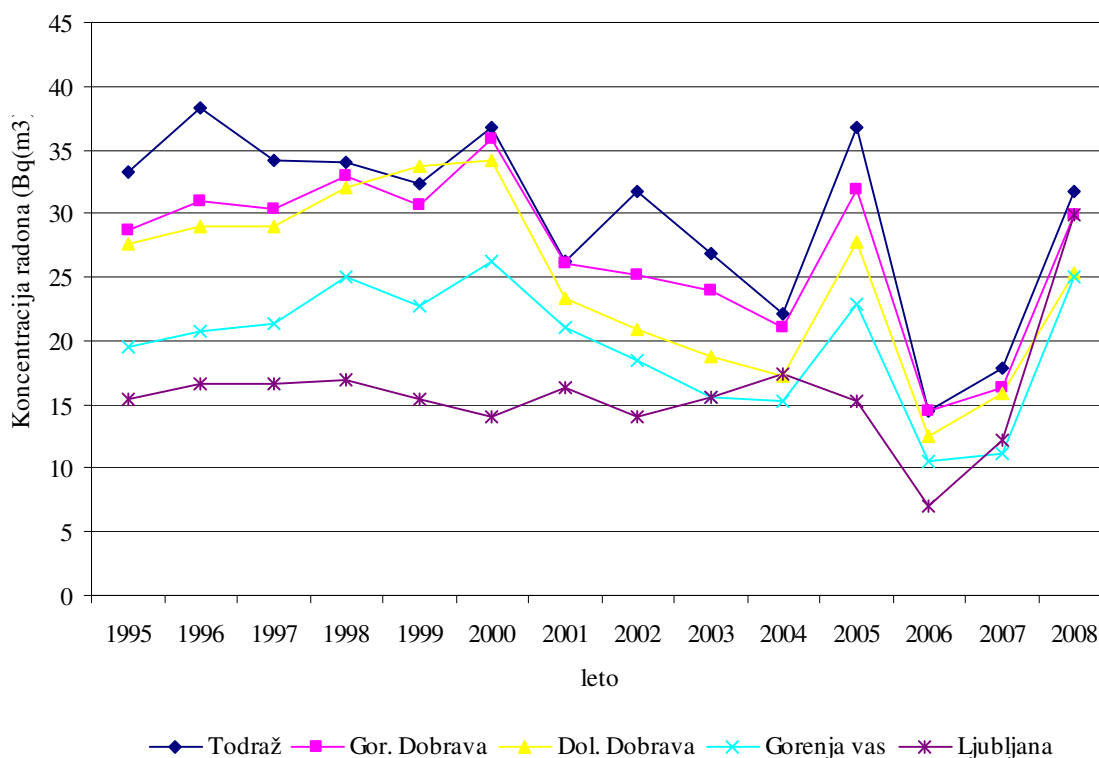
Tabela III-4: Koncentracija Rn-222 v okolici rudnika urana Žirovski vrh merjeno z ogljenimi adsorberji

Lokacija	Oddaljenost od obratov RŽV	Koncentracija Rn-222 (Bq/m ³)
		Povprečje 2008
Todraž	0,4 km	31,8 ± 5,1
Gorenja Dobrava	1,4 km	30,0 ± 4,8
Dolenja Dobrava	1,8 km	25,3 ± 4,0
Gorenja vas	2,6 km	25,0 ± 3,8
<i>Ljubljana</i>	<i>26 km</i>	<i>29,9 ± 5,5</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 VII.1.4 in VII.1.5). Za primerjavo z rezultati preteklih let podajamo pregledno tabelo (Tabela III-5) in graf (Slika 5) 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 - 2008

Lokacija	Povprečje 1995 - 2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Povprečje 1995 - 2008
Todraž	33,6	31,7	26,8	22,1	36,7	14,5	17,8 ± 3,0	31,8 ± 5,1	29,7
Gor. Dobrava	30,8	25,2	24,0	21,0	31,9	14,5	16,3 ± 2,7	30,0 ± 4,8	27,0
Dol. Dobrava	29,8	20,9	18,8	17,3	27,8	12,5	15,9 ± 2,7	25,3 ± 4,0	24,8
Gorenja vas	22,4	18,4	15,6	15,2	22,9	10,5	11,1 ± 1,8	25,0 ± 3,8	19,7
<i>Ljubljana</i>	<i>15,9</i>	<i>14,1</i>	<i>15,6</i>	<i>17,4</i>	<i>15,3</i>	<i>7,0</i>	<i>12,2 ± 2,2</i>	<i>29,9 ± 5,5</i>	<i>15,9</i>



Slika 5: 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 $29,7 \text{ Bq/m}^3$ in $27,0 \text{ Bq/m}^3$. V dolini reke Sore, kjer vpliva rudniških virov radona ni moč zaznati, se koncentracija spusti pod 20 Bq/m^3 . Iz tega sklepamo, da je rudniški prispevek k povečanju koncentracije Rn-222 v okolici nekaj Bq/m^3 , v letu 2008 okoli $3,3 \text{ Bq/m}^3$. Prispevek je ocenjen iz meritev koncentracije radona z detektorji sledi.

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 in 2008 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. Zaradi podnebnih sprememb, posegov v prostor, obsežnih del, ki so bila v preteklosti izvedena na vplivnem območju, predlagamo, da se ugotovitev preveri s ponovnimi meritvami v 2009.

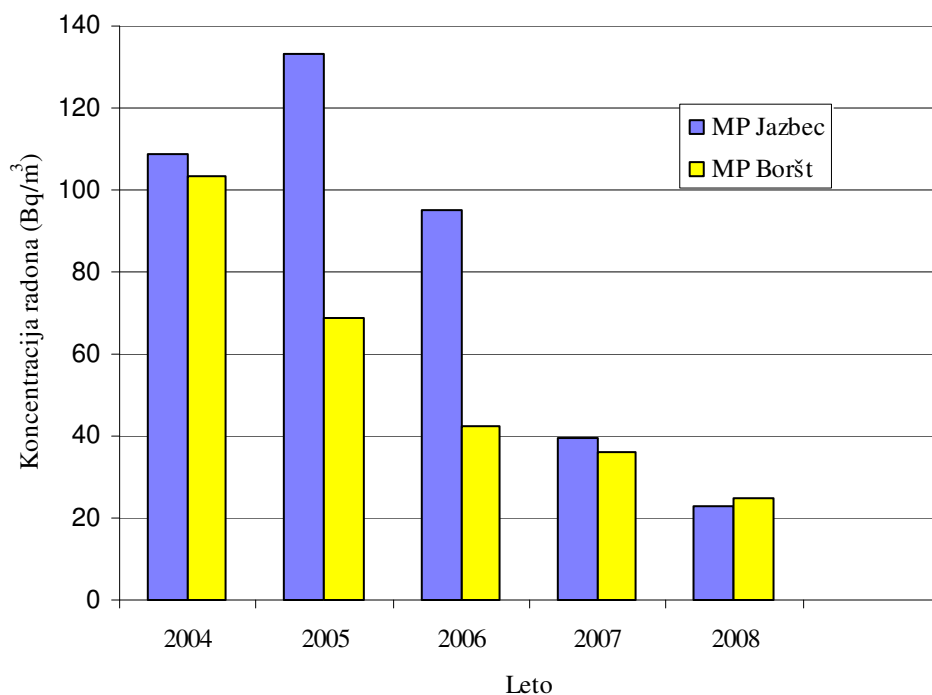
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

Tudi v letu 2008 smo merili koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo ogljenih adsorberjev, to je v okolici odlagališč Boršt in Jazbec. Na odlagališču Boršt so koncentracije radona običajno največje na spodnjem robu odlagališča ($32 - 34 \text{ Bq/m}^3$), 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 splošnem so izmerjene vrednosti koncentracije radona z metodo ogljenih adsorberjev višje kot v 2007 ali v 2006. To je verjetno posledica majhnega števila meritev (le dve meritvi). V primeru majhnega števila meritev lahko vremenske razmere med izvedbo posamezne meritve bistveno vplivajo na rezultate.

Na odlagališčih Jazbec in Boršt so bile povprečne koncentracije radona v letu 2008 precej podobne (Tabeli VII.1.6 in VII.1.7, lokacije meritev MP Jazbec, spodnji rob travnika Jazbec, Boršt ovinek pri lubadarju, Boršt zgornja etaža, Boršt kozolci), vendar na Jazbecu še vseeno nekaj višje kot na Borštu. To velja za meritve tako z detektorji sledi kot z metodo ogljenih adsorberjev.

Na odlagališču Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona v preteklih letih običajno višje kot na Borštu, razen v letu 2001. 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 zatraitvi 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 začasnega odlagališča P-9 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. Vrata v propustu pod odlagališčem so bila zaprta (ni bilo naravnega zračenja), zato iz tega vira ni bilo prispevkov radona v letu 2008.

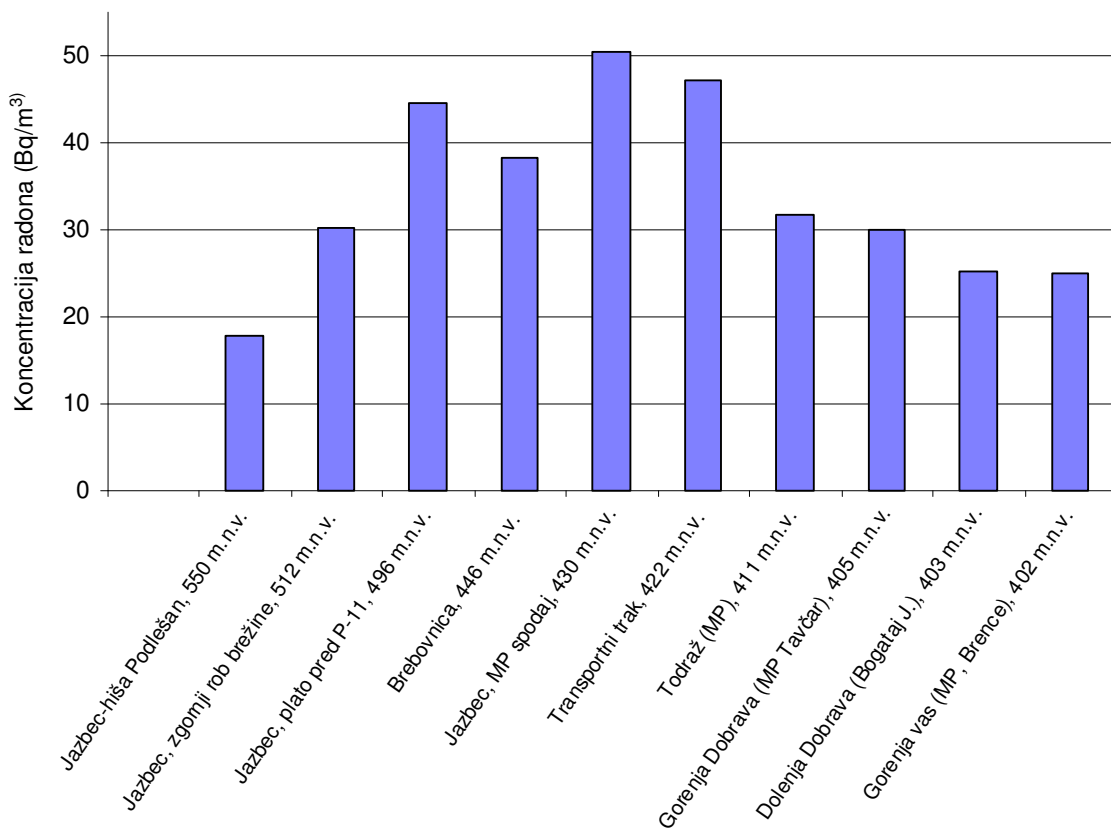
Obsežna zapiralna in sanacijska dela na odlagališčih Jazbec in Boršt vplivajo na zmanjševanje koncentracije radona na odlagališčih. Vpliv del na zmanjšanje koncentracije je prikazan na sliki (Slika 6).



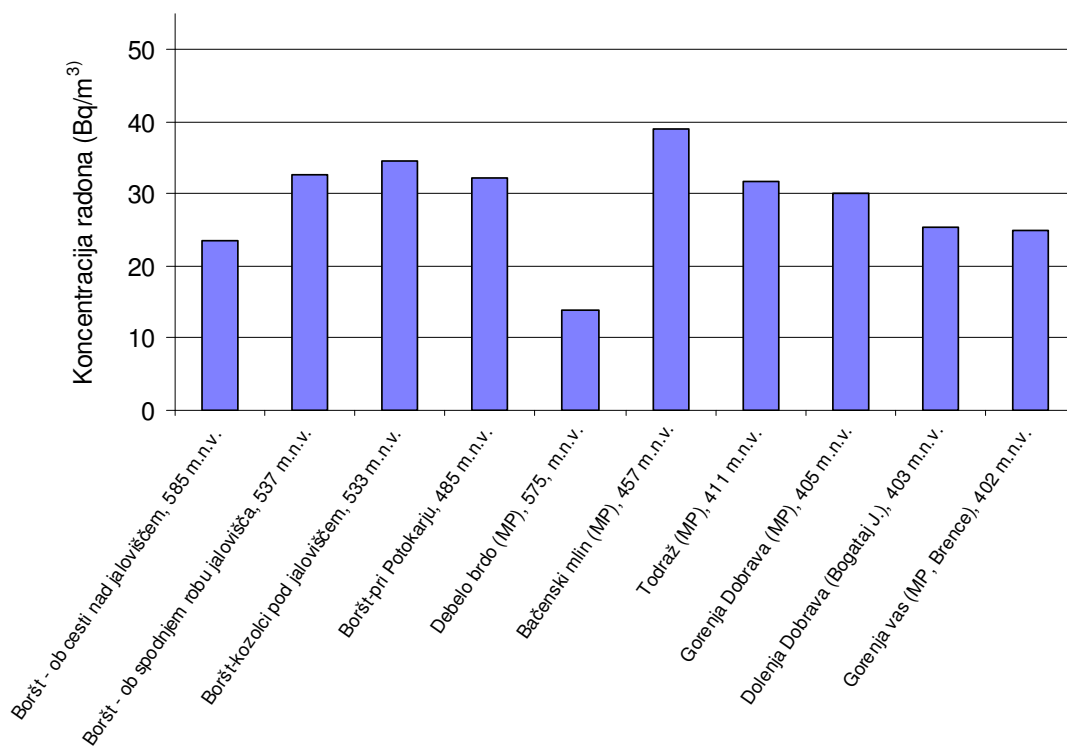
Slika 6: Koncentracije radona izmerjene z detektorji sledi na odlagališčih Jazbec in Boršt

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 7, Slika 8) so višinski profili koncentracije radona po dolinah Brebovščice in Todraščice. 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 7: Višinski profil koncentracije radona po dolini Brebovščice za leto 2008



Slika 8: Višinski profil koncentracije radona po dolini Todraščice za leto 2008

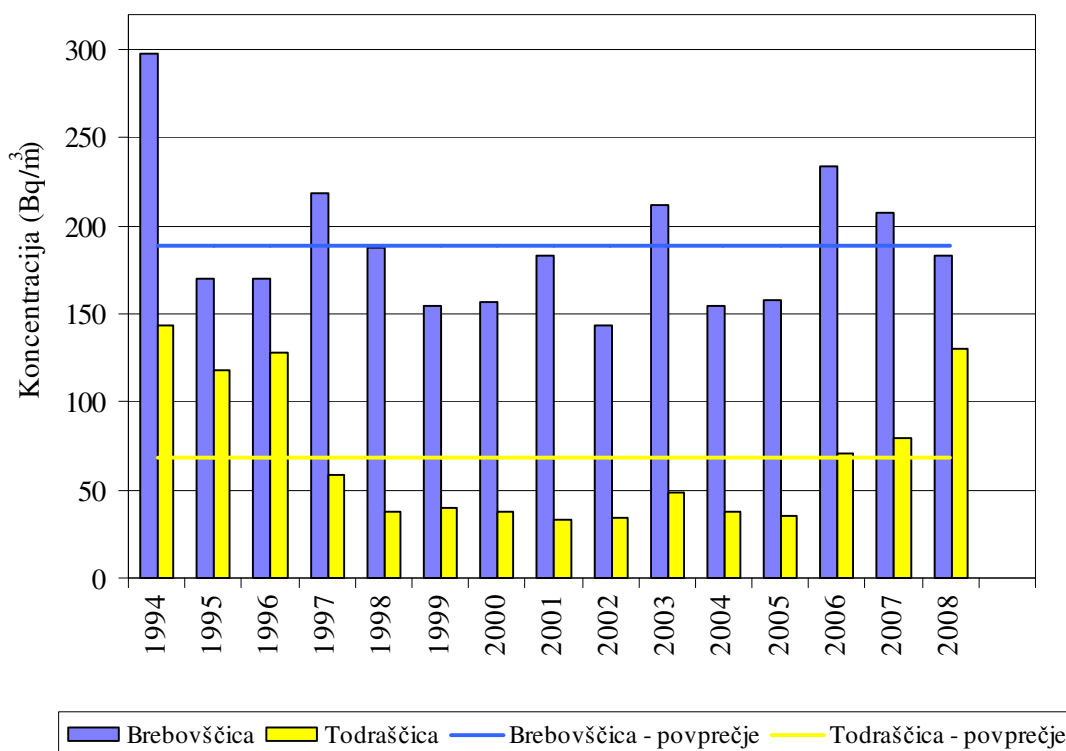
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

III.2.1 Vodotoki

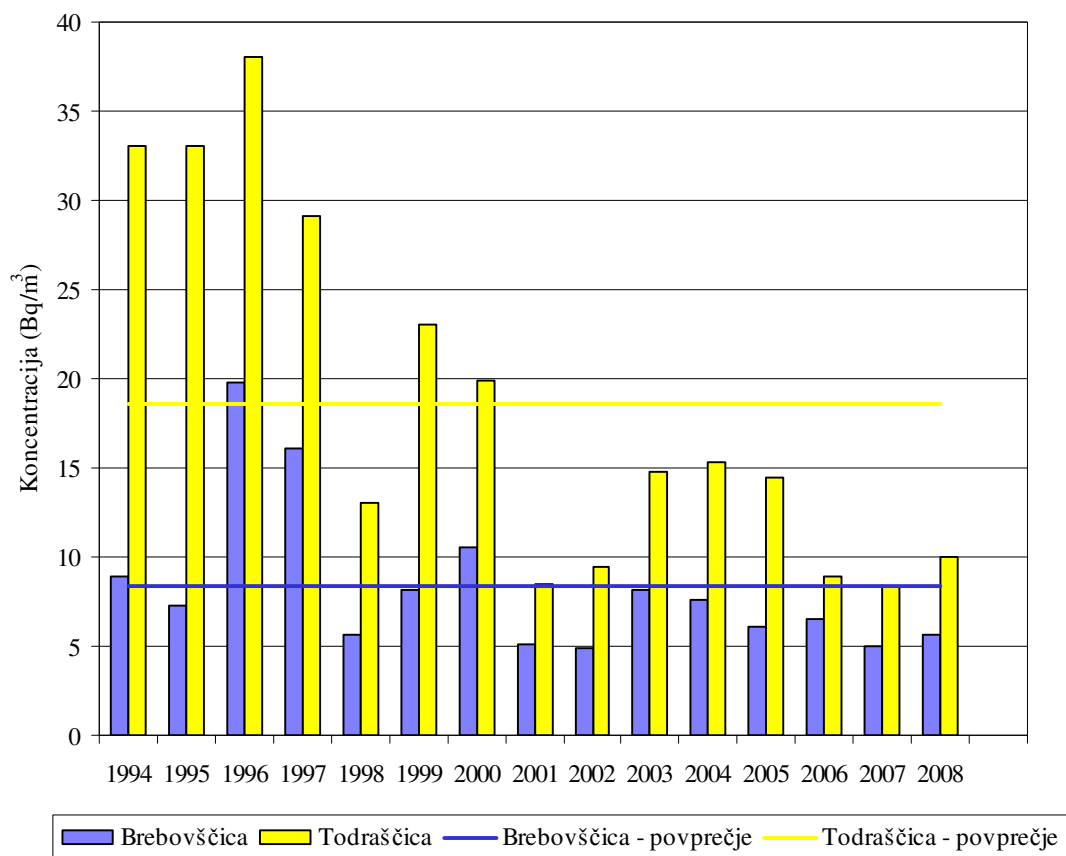
Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele VII.2.1-VII.2.5). Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztokov in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 9, Slika 10, Slika 11). 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

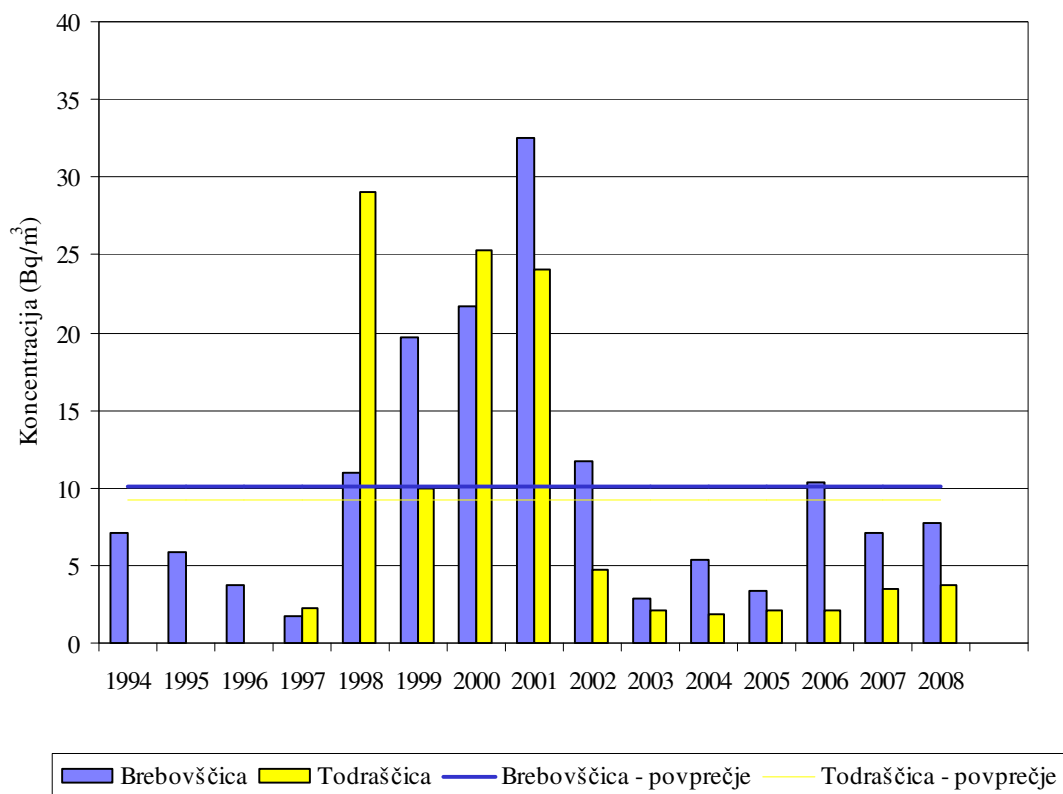
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 9: Povprečne koncentracije U-238 v Brebovščici in Todraščici



Slika 10: Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici



Slika 11: Povprečne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo 6% mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238 (IK = 3000 Bq/m³), 4 % za Pb-210 (IK = 190 Bq/m³) in 2% za Ra-226 (IK = 480 Bq/m³) [2]. 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 jamske izkopsnine na Jazbecu 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.

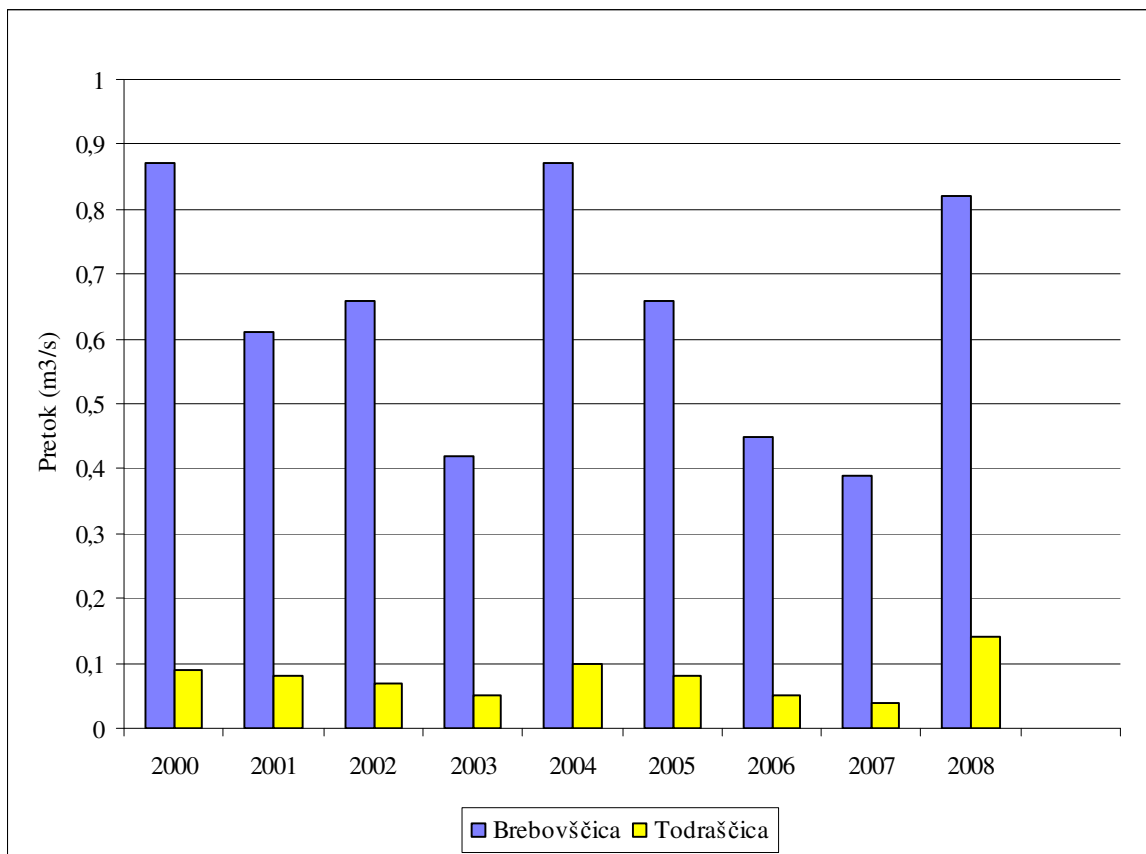
Glavni onesnaževalec z uranom je jamska voda, ki povzroča 66% vseh emisij urana. Odlagališče Boršt povzroča 28% in odlagališče Jazbec 6% vseh emisij urana. V primerjavi z letom 2007 so bile skupne emisije U₃O₈ v letu 2008 višje (276 kg : 185 kg), pri čemer so bile emisije manjše kot v 2007 iz odlagališča Jazbec (-21 kg) in večje iz Jame (56 kg) ter odlagališča Boršt (povečanje iz 21 kg na 77 kg). Skupne emisije Ra-226 so bile v letu 2008 68 MBq v primerjavi z letom 2007, ko so bile 41,2 MBq. Tudi pri emisijah Ra-226 je na odlagališču Jazbec viden padec iz 9,3 MBq v 2007 na 5 MBq v 2008, iz jame je bilo nekaj več emisij Ra-226 (27 MBq : 20 MBq), največje povečanje emisij Ra-226 pa je bilo iz odlagališča Boršt (iz 11,9 MBq na 35 MBq v 2008).

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 12). Majhna količina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, čeprav so lahko emisije nespremenjene. Tako so bile npr. letne mase emisije U_3O_8 iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt v obdobju 2004 – 2007 približno enake, a so izmerjene koncentracije U-238 v sušnem letu 2006 in 2007 večje kot leta 2005 in tudi večje kot leta 2008, čeprav so bile emisije leta 2008 večje.

Naj poudarimo, da so emisije iz odlagališča Jazbec najmanjše v vseh letih izvajanja meritev in da so bila zapiralna dela uspešna.

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

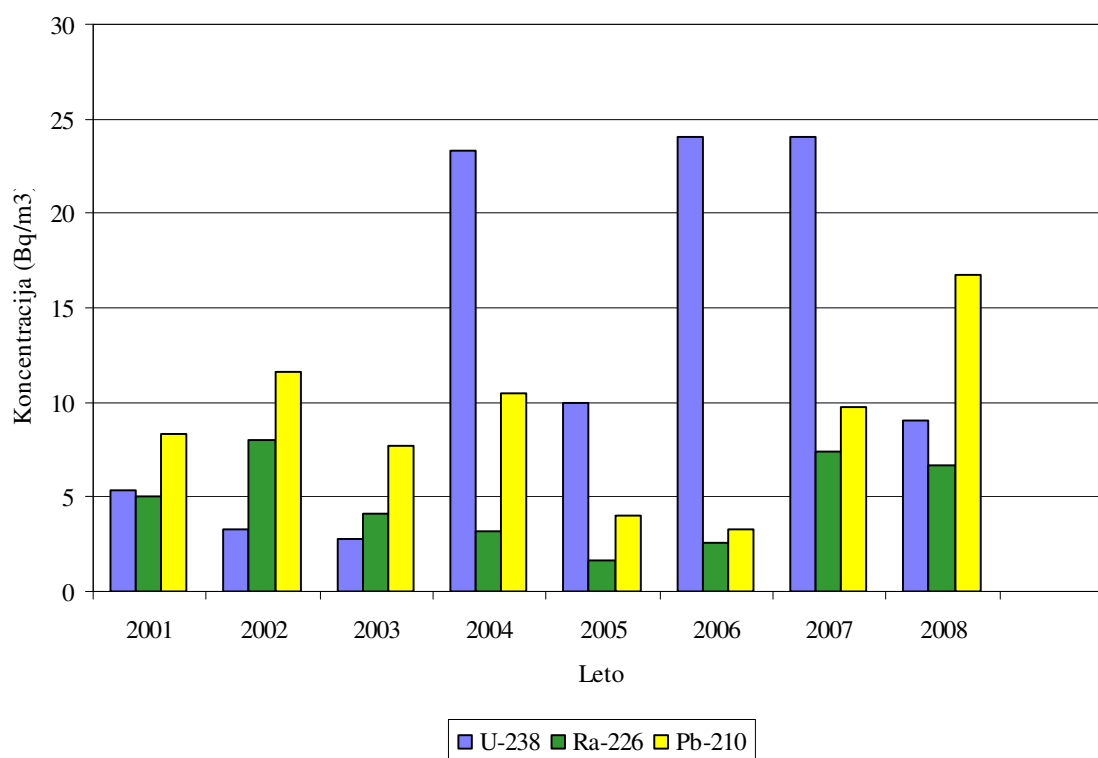


Slika 12: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

III.2.2 Podtalnica

V programu nadzora so bile v letu 2008 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 in izvira Mrzlek za katerega se ugotavlja povezava z vodami iz Jazbeca. Rezultati so podani v tabeli (Tabela VII.2.6).

Poleg vode iz obeh vrtin smo analizirali tudi vodo iz vodnjaka pri kmetiji Drmota v Dolenji Dobravi. 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. Meritve iz preteklih let so pokazale, da je v vodi iz vodnjaka pri kmetiji Drmota manj U-238 kot v vodi iz vrtin. V letu 2008 so koncentracije Ra-226 v vrtinah celo nižje kot v vodnjaku pri kmetiji Drmota, tudi Pb-210 je v izvira Mrzlek manj kot v vodnjaku kmetije Drmota. V obdobju 2004 - 2007 so koncentracije U-238 višje kot pred tem obdobjem (Slika 13), v letu 2008 pa spet nižje. Domnevamo, da na koncentracijo U-238 v vodnjaku močno vplivajo sušne razmere. V bolj suhih letih so koncentracije urana v vodnjaku višje.



Slika 13: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodnjaku pri kmetiji Drmota

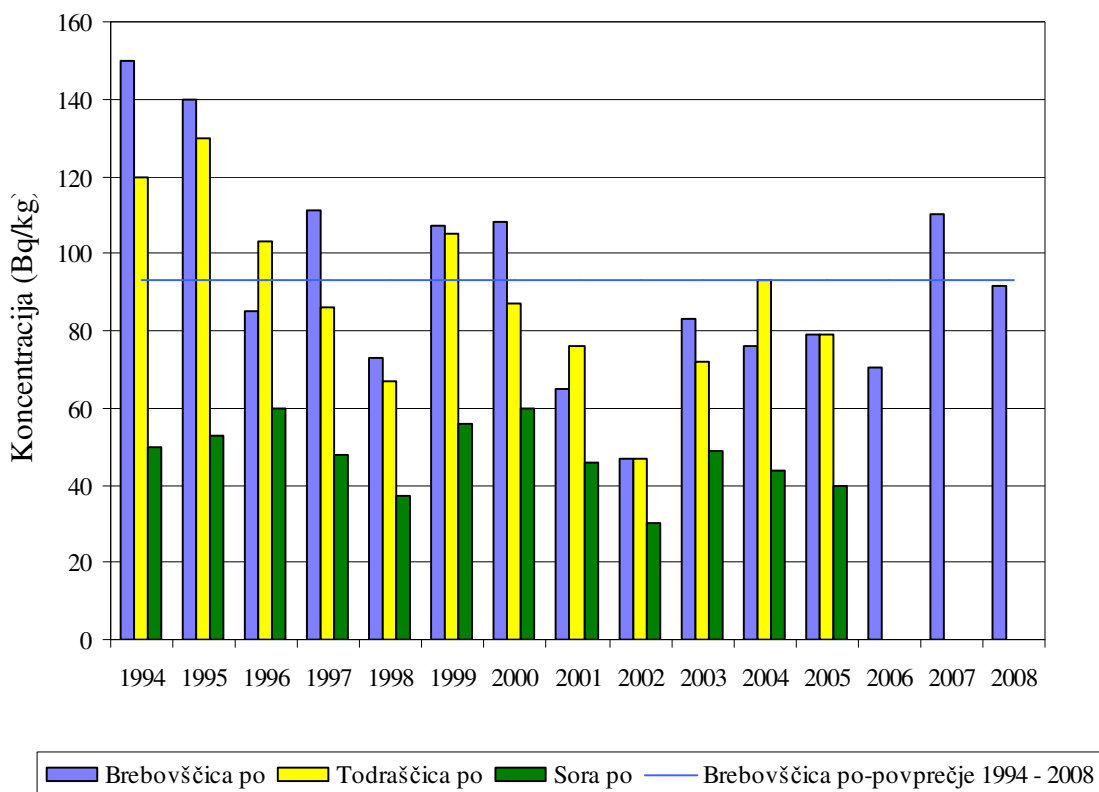
III.3 SEDIMENTI

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

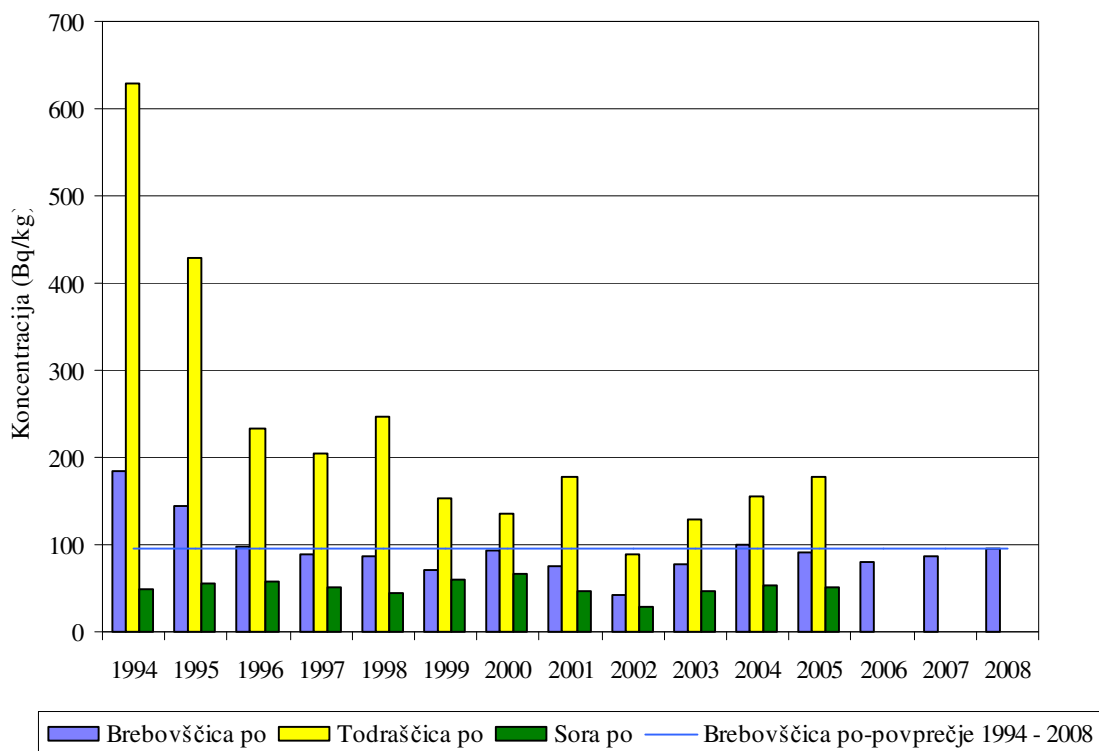
V tabeli (Tabela III-7) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 14, Slika 15 in Slika 16) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

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

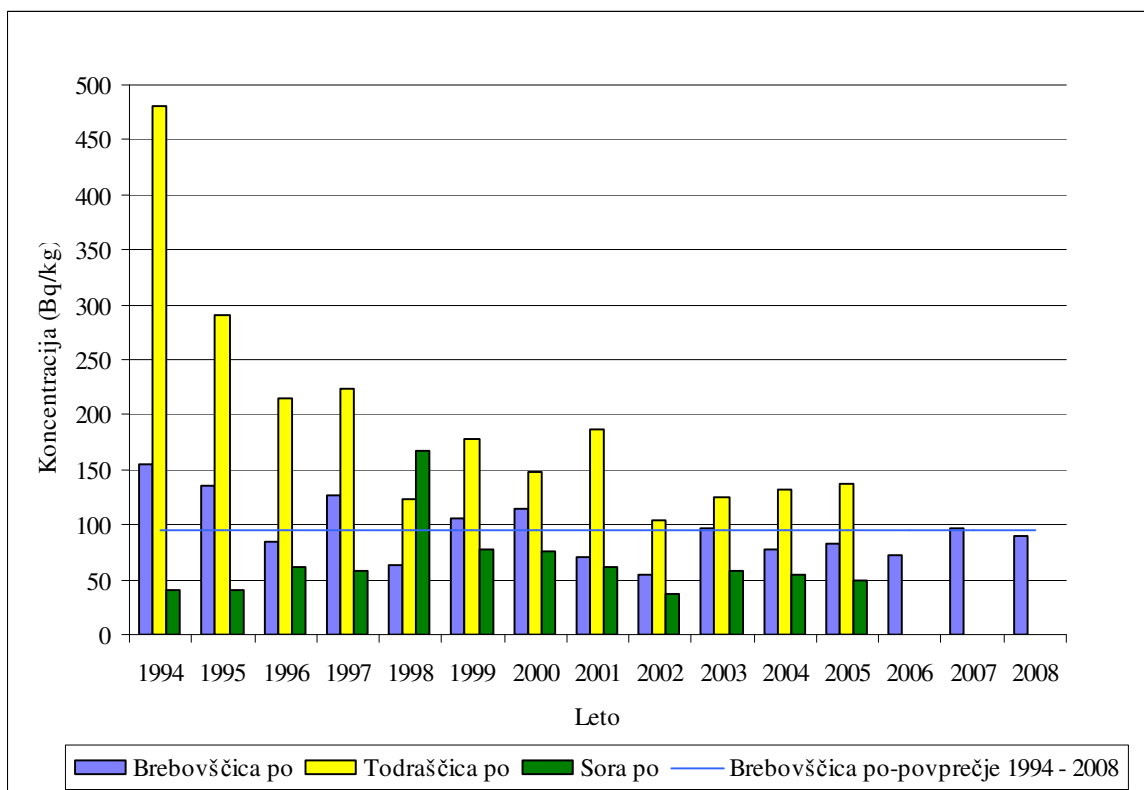
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



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



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



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

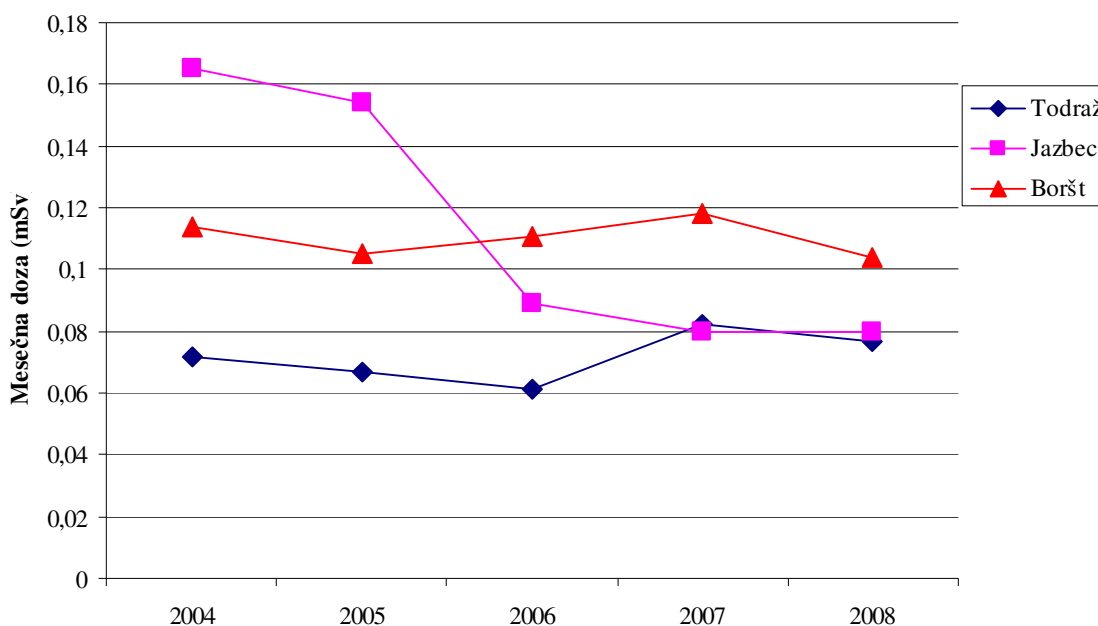
Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letu 2008 na

ravni povprečja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so v letih 2007 in 2008 višje kot v 2001 – 2005, kar povežemo z intenzivnimi deli na odlagališčih.

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

III.4 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 VII.5.3). Do leta 2005 smo meritve mesečno izvajali na 9 lokacijah v okolici RŽV. Po letu 2007 so meritve kvartalne na treh lokacijah. Pregled povprečnih mesečnih doz izmerjenih s TL dozimetri je na sliki (Slika 17). Obsežna zapiralna dela, predvsem nanašanje prekrivke, so vplivala na zmanjšanje doze na odlagališču Jazbec. Tako je bila povprečna izmerjena mesečna doza na odlagališču Jazbec v letu 2008 že skoraj enaka povprečni izmerjeni mesečni dozi v Todražu.



Slika 17: Povprečne mesečne doze izmerjene s TL dozimetri

Poleg meritev s TL dozimetri smo okoli odlagališč Boršt in Jazbec merili hitrosti absorbirane doze v zraku (Tabeli VII.5.1 in VII.5.2), medtem ko meritev na odlagališčih P-1 in P-9 po letu 2005 ni več v programu.

V splošnem velja [11], da k sevanju ozadja oziroma k zunanjemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in černobilska kontaminacija. Vrednosti

ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred černobilsko kontaminacijo [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 černobilska 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, vsebnosti radonovih potomcev v zraku in zadrževanja v bližini odlagališč jamske jalovine.

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 se ne razlikujejo od vrednosti iz preteklih let, kljub temu da so v letu 2007 začeli z intenzivnimi deli na odlagališču in nadaljevali v 2008.

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 v pohodnih linijah, v smereh proti hišam, ki se nahajajo v bližini odlagališča.

Na površini odlagališča je hitrost doze 0,2-1,0 $\mu\text{Sv/h}$. Na ograji na jugovzhodni in jugozahodni strani je hitrost doze 0,20-0,30 $\mu\text{Sv/h}$, na južni strani 0,12-0,20 $\mu\text{Sv/h}$ in na severni strani 0,17-0,22 $\mu\text{Gy/h}$. Povišano sevanje gama je zaznati še do razdalje 100-150 metrov na vzhodu, zahodu in jugu, na severu pa do razdalje 150-200 metrov od ograje. Povečano sevanje je lahko posledica lokalnih geoloških posebnosti in ne nujno vpliva odlagališča.

Povišano sevanje smo izmerili še pri kmetiji Potokar, ki leži v SV smeri 280 metrov pod odlagališčem, ker leži kmetija tik ob potočku, ki teče od odlagališča navzdol. Povišano sevanje pri kmetiji Potokar je prej posledica geoloških značilnosti terena, kot pa vpliva samega odlagališča Boršt. Povišano sevanje ne doseže nekdanje kmetije Jaka 200 metrov zahodno od odlagališča in kmetije Vrban 300 metrov južno od odlagališča.

III.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča jamske jalovine Jazbec

Odlagališča jamske jalovine na Jazbecu leži na vzhodnem pobočju Žirovskega vrha. Neposredno sevanje iz odlagališč jamske jalovine ima znatno manjši doseg kot smo ga izmerili na odlagališču HMJ na Borštu. V letu 2008 v okolici odlagališča Jazbec pravzaprav nismo več izmerili vpliva.

Hitrosti doz na zunanjih robovih odlagališča Jazbec so med 0,09-0,14 $\mu\text{Sv/h}$. Vplivno območje in hitrosti doz so se v okolici odlagališča Jazbec v primerjavi z obdobjem obratovanja, zmanjšale zaradi nanašanja prekrivke v letih 1998 – 2002, dovažanja materiala iz odlagališč P-1 in P-9 predvsem v letih 2004 – 2006 in nanašanja prekrivke v 2007 in 2008. Ko se oddaljujemo od odlagališča, se vrednosti praktično ne spreminjajo in so vseskozi v okviru naravnega ozadja. V letu 2007 nismo več izmerili vročih točk oziroma mest s povišanimi hitrostmi doze na dovozu k transformatorski postaji TP-11 in nad vhodom v rudnik P-11. Z meritvami leta 2008 lahko ugotovimo, da odlagališče Jazbec ne povzroča več povečanega zunanjega sevanja gama v okolici odlagališča.

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* [2] in *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [3]. 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* [3]. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [3] ima osnovo v ICRP 65 [14].

V skladu z [3] 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 2008 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 ocenili z uporabo doznih pretvorbenih faktorjev po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [2]. Upoštevali smo, da so U-238, Ra-226 in Pb-210 v ravnotežju s svojimi potomci. Pri izračunu smo uporabili rezultate meritev iz tabele VII.1.1. 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].

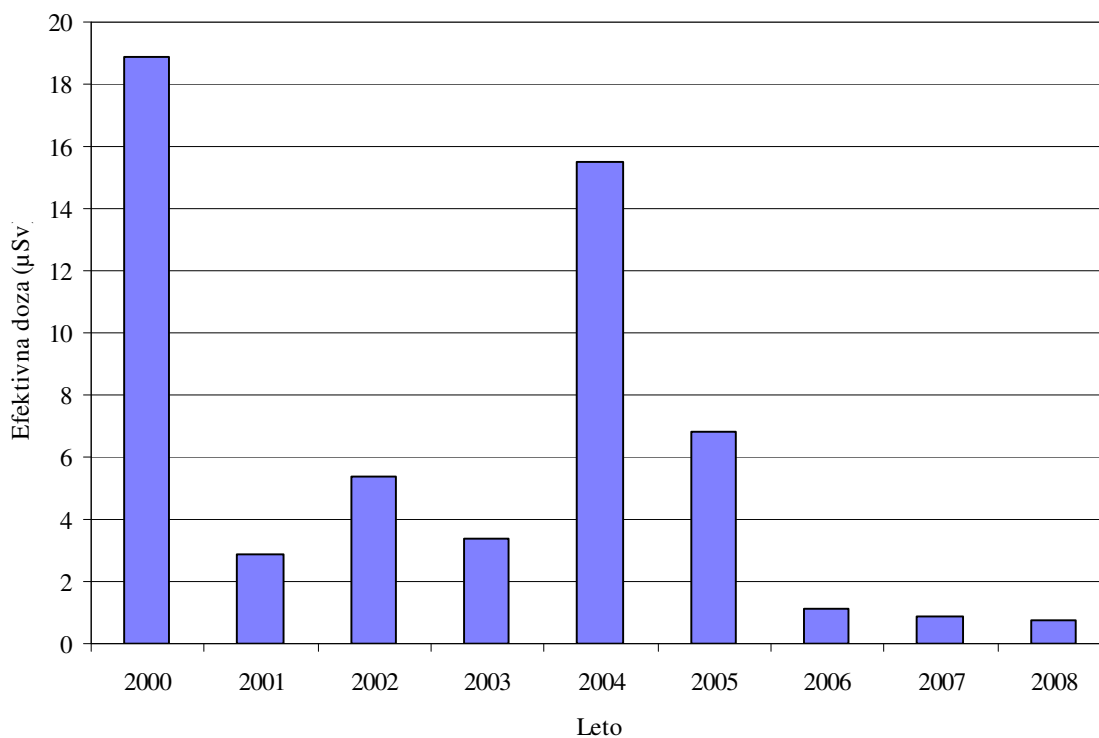
Dodatna efektivna doza zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku, ki so posledica

rudnika je:

$$\begin{aligned} E &= 0,78 \pm 0,26 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &= 0,29 \pm 0,09 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &= 0,17 \pm 0,06 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto,} \end{aligned}$$

Ocena doze pokaže, da inhalacija dolgoživih radionuklidov ne prispeva bistveno k celotni letni efektivni dozi zaradi vpliva RŽV. Večino doze prispeva Pb-210.

Obsevna obremenitev je nekajkrat nižja kot v času obratovanja rudnika (poročila IJS 1986-1990). Ocena doze zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov se po letih lahko zelo razlikujejo med seboj (Slika 18). Koncentracije radionuklidov v zraku so namreč nizke, negotovost meritve temu ustrezno velika, kar se odraža na izračunu doze.



Slika 18: Letne efektivne doze v okolici RŽV zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku za odraslega prebivalca

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 2008 je:

$E = 1,7 \pm 0,4 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

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

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

in je nižja od doze v preteklih letih, kar je predvsem posledica majhnega prispevka rudniškega radona.

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* [3].

Za povprečni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na območju Gorenje Dobrave smo privzeli vrednost 0,4 [2], za radon v hišah pa prav tako ravnovesni faktor 0,4. Ker nekateri viri navajajo, da je ravnovesni faktor na prostem višji kot 0,4 [24], predlagamo, da se prvi faktor ugotovi z meritvami oziroma oceni z izračuni.

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

V letu 2008 je koncentracija radona povečana za $3,3 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3$. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2008:

$E = 70 \pm 16 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,

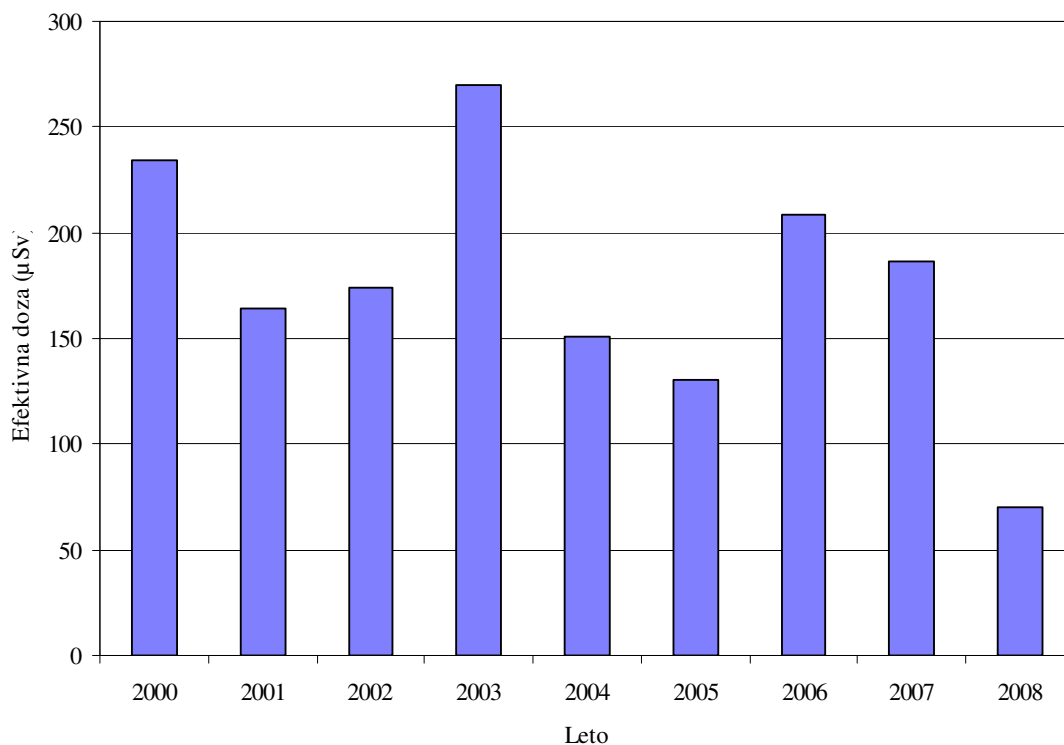
$E = 67 \pm 16 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 10 let,

$E = 76 \pm 18 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 1 leto,

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2008 prejeli dozo $82 \pm 20 \mu\text{Sv}$. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje so manj obremenjeni in so prejeli dozo $58 \pm 14 \mu\text{Sv}$.

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za leto 2008 so 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 [3] ter ravnovesni faktor na prostem 0,4 in ne 0,45; sprememba metodologije je oceno doze znižala za okoli 20%), pa je nizka doza v letu 2008 posledica majhnega ocenjenega prispevka rudniškega radona. Ocenjeni prispevek je najmanjši v dosedanjem izvajanju meritev nadzora radioaktivnosti v okolici RŽV.

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 19). Najbolj so obremenjeni prebivalci, ki živijo v dolinskem področju v oddaljenosti 2-2,5 km od rudniških obratov, saj so tam koncentracije potomcev največje (poročila IJS 1990-1995, 1998, ZVD 1996-2000, IJS/ZVD 2001-2007). 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. Ocenjeni prispevek rudniškega radona ni več četrtnina pač pa le še okoli 5%. Vrednost je že tako nizka, da vpliv z meritvami težko potrjujemo in bi bilo potrebno narediti širšo raziskavo o prispevku rudniškega radona h koncentraciji radona v okolici RŽV.



Slika 19: Efektivne letne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za odraslega prebivalca v okolici RŽV

IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI

IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije – hrana

Ker v letu 2008 v programu niso bile zajete meritve hrane, za oceno doze v letu 2008 privzemamo podatke iz leta 2005, razen za mleko. Za mleko je namreč RŽV v letu 2008 izvedel analizo več vzorcev iz območja RŽV in referenčne lokacije. Analize je izvedel Institut Jožef Stefan (*analizno poročilo št. 241-245/08 z dne 09.01.2009*) z radiokemično separacijo in meritvijo na spektrometru alfa (U-238 in Ra-226) ali proporcionalnem števcu (Pb-210). Metoda ima nižje meje detekcije kot metoda visokoločljivostne spektrometrije gama, s katero so se izvajale meritve vsebnosti radionuklidov v vzorcih hrane do leta 2005. Meje detekcije z metodo visokoločljivostne spektrometrije gama so za U-238 in Pb-210 nekaj deset mBq/kg in za Ra-226 nekaj mBq/kg. Meja detekcije pri radiokemični separaciji pa je približno velikostni red nižja. V tabeli (Tabela IV-1) podajamo povprečne vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka, ki so jih izmerili na IJS v letu 2008.

Tabela IV-1: Povprečne vsebnosti U-238, Ra-226 in Pb-210 v mleku iz območja RŽV in referenčne lokacije. Analize je v letu 2008 izvedel IJS.

	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)
Območje RŽV	0,0168 ± 0,0007	0,0118 ± 0,0007	0,057 ± 0,011
Referenčna lokacija	0,0010 ± 0,0003	0,012 ± 0,001	0,044 ± 0,015

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* [2]. 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.

Če vzorca hrane ne uspemo dobiti, v izračunu upoštevamo izmerjeno vrednost iz zadnjega leta, ko smo vzorec hrane dobili (za meso tako v izračunu upoštevamo vrednost iz leta 2004). 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:

$$\begin{aligned}
 E &< 30 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\
 E &< 60 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\
 E &< 12 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.}
 \end{aligned}$$

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 2008 je RŽV upošteval priporočilo iz [25] in izvedel meritve vsebnosti radionuklidov z bolj občutljivimi merskimi metodami. Na ta način smo lahko v letu 2008 precej bolj zanesljivo določilo dozo dojenčkov. Tako je ocenjena letna efektivna doza dojenčkov zaradi ingestije v letu 2008 manjša od 12 μSv , v letu 2007 pa je bila manjša od 70 μSv . Če bi tudi pri ostalih starostnih skupinah želeli bolj natančno določiti dozo zaradi ingestije, predlagamo, da se tudi druge vrste hrane analizira z bolj občutljivimi analiznimi tehnikami, kot je visokoločljivostna spektrometrija gama.

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 2008)

Vrsta hrane	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Količina (kg/leto) za odraslega prebivalca
mleko	0,012	0,06	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. Ker od leta 2005 v programu meritev ni več meritev rib, smo za oceno doze uporabili podatke iz leta 2005. 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:

$$E_{(\text{ingestija ribe})} = 2,9 \mu\text{Sv}.$$

IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda

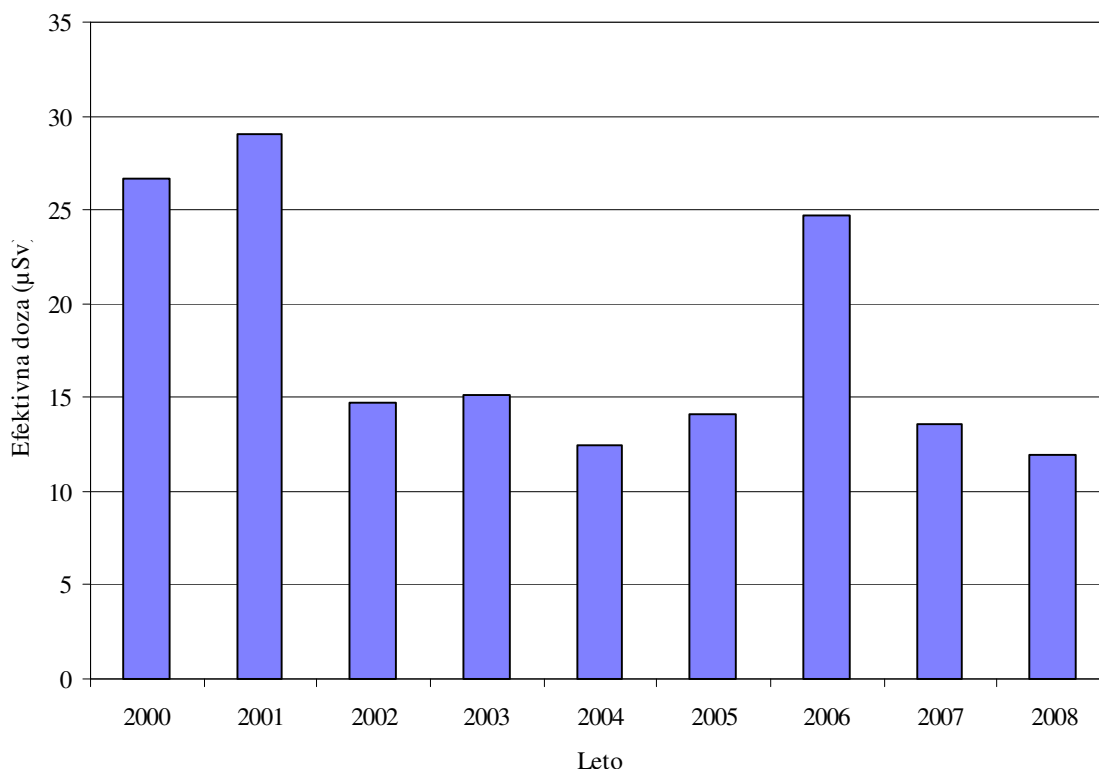
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovščice in znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 11,9 \pm 9,0 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca},$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 15,7 \pm 11,9 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let},$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 15,1 \pm 11,5 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto},$$

Izračunana letna efektivna doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 20). Za količine zaužite vode smo upoštevali [22].



Slika 20: Letne efektivne doze zaradi pitja vode (Brebovščica) za odraslega prebivalca iz okolice RŽV

IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA

IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi

Prispevek zunanjega sevanja zaradi talne depozicije aerosolov je zanemarljiv in je velikostnega reda 0,01 μSv . Konverzijske faktorje smo privzeli po US RG 3.51. Prispevek prašnih delcev zaradi imerzije je še manjši ($< 10^{-5}$ μSv na leto).

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:

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

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

IV.3.3 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč

V okolici odlagališč smo izmerili povečano hitrost doze. Najdlje smo izmerili sevanje iz odlagališča Boršt, celo do razdalje 200 metrov. Na Jazbecu v letu 2008 nismo več izmerili vpliva. Upoštevali smo, da so lastniki okoliških zemljišč le občasno, ob sezonskih delih, izpostavljeni povišanemu zunanjemu sevanju zaradi odlagališč. Za otroke smo privzeli, da se ne zadržujejo v bližini odlagališč.

Za bližino odlagališča Boršt ocenjujemo letno efektivno dozo zaradi zunanjega obsevanja na:

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

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 2008, smo uporabili podatke za leto 2005.

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	0,8	0,3	0,2
	- samo Rn-222	1,7	1,2	0,5
	- Rn, kratkoživi potomci	70	67	76
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi	(11,9)	(15,7)	(15,1)
	- ribe (Ra-226, Pb-210)	2,9	2,9	-
	- kmetijski pridelki, hrana (Ra-226, Pb-210)	< 30	< 60	< 12
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija)	1,1	1,1	1,1-
	- γ sevanje dolgoživih radionuklidov	-	-	-
	- γ sevanje v okolici odlagališč	1,0	-	-

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2008 je:

107 μSv (0,107 mSv) za odraslega prebivalca

132 μSv (0,132 mSv) za otroka starega 10 let

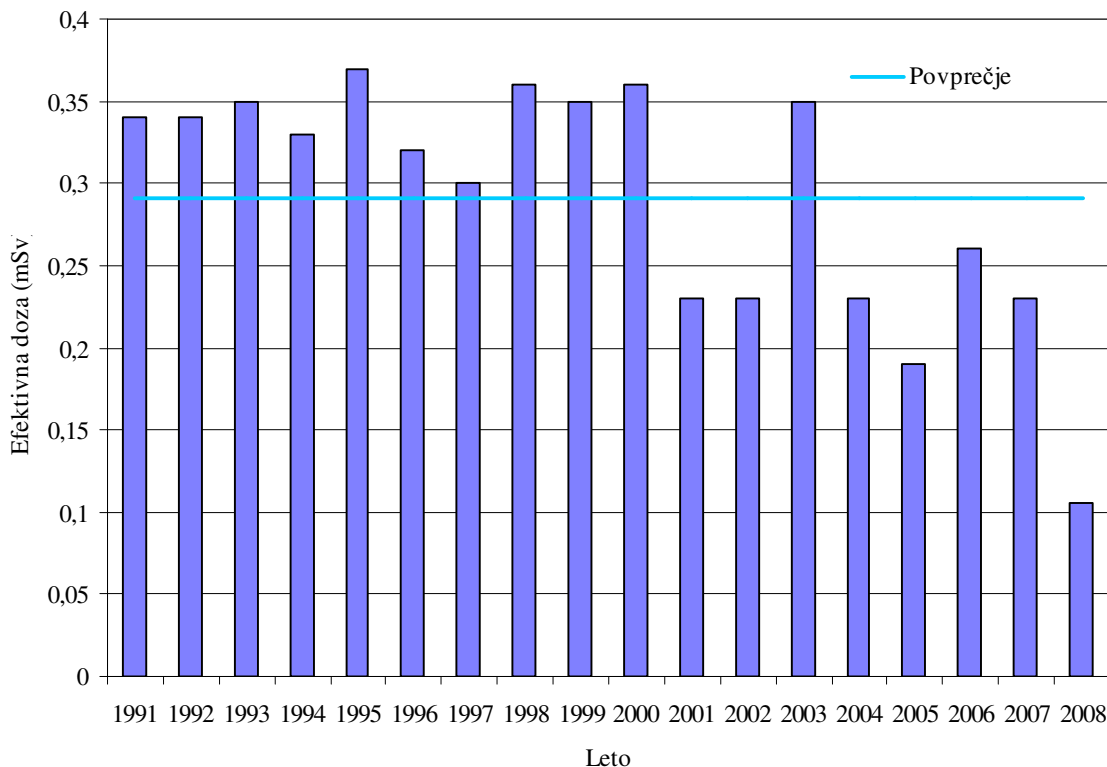
89 μSv (0,089 mSv) za otroka starega 1 leto

(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 21). Po letu 2000 je viden pomik k nižjim vrednostim zaradi izvedenih del v obdobju 2000-2002, s katerimi so se zmanjšale emisije radona, ki največ prispeva k dozni obremenitvi prebivalstva. Po letu 2007 pri izračunu doz uporabljamo hitrosti dihanja iz reference [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 2008, saj je tudi ocenjeni prispevek radonovih potomcev, ki največ prispevajo k dozi, najmanjši.



Slika 21: Skupne letne efektivne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV

IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV

Na osnovi meritev radona in sevanja gama v hišah in na prostem v letih 1987-1989 so sodelavci IJS izdelali okvirno oceno o celokupni izpostavljenosti prebivalstva v dolini RŽV naravnemu sevanju. Upoštevali so vse glavne vire, ki jim je izpostavljeno prebivalstvo. Glede na izboljšanje bivalnega standarda prebivalstva v zadnjem desetletju, je najbrž sedanja vrednost nižja. Smiselno bi bilo naravno izpostavljenost ponovno oceniti in upoštevati novejšo metodologijo ocene doz ter bivalni standard prebivalstva.

Ocena je pokazala [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 2008 je 0,107 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 in obdobjem, ko se izvajajo dela končne ureditve nekdanjih 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. Prispevek dolgoživih radionuklidov k celotni dozi zaradi RŽV znaša v letu 2008 okoli 0,7 %. Relativno gledano je prispevek k celotni efektivni dozi nekaj višji kot v letih pred 2008, čeprav je efektivna doza zaradi vdihavanja aerosolov v letu 2008 celo nekaj manjša kot v 2007. Razlog relativnega povečanja je v nizki ocenjeni letni efektivni dozi, predvsem zaradi majhnega prispevka radona in potomcev. Zaradi nizkih vrednosti je meritev koncentracije aerosolov v zraku in s tem ocena doze, obremenjena z veliko negotovostjo.

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.

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 letu 2008 potekale aktivnosti končne ureditve odlagališča (preurejanje površine, vgradnja končne prekrivke, drenaže). Odlagališče Jazbec so v letu 2008 v celoti prekrili s končno prekrivko, na odlagališču Boršt pa je prekrite približno 50% celotne površine. Posledica prekrivanja so zmanjšane ekshalacije radona in izmerjene koncentracije radona na obeh odlagališčih so najnižje do sedaj.

V letu 2008 je RŽV izvajal meritve koncentracije radona na vseh rednih lokacijah, dodal pa je meritve še na treh lokacijah v okolici RŽV: Gorenja vas v Vršajnu (kozolec Ferlan), Dolenja Dobrava ob sotočju Poljanske Sore in Brebovščice (hiša Markelj) in Srednja vas (kozolec Čadež). Redno lokacijo v Gorenji vasi smo zaradi potreb lastnika zemljišča prestavili 20 m bolj severno, iz travnika med objekte. Zaradi spremenjene lokacije, nenavadno visokih vrednosti koncentracije radona na obeh lokacijah v Gorenji vasi, smo se odločili, da kot vrednost ozadja upoštevamo koncentracijo radona v Srednji vasi. Ocenjeni prispevek rudniškega radona v letu 2008 je 3,3 Bq/m³ in je daleč najnižji v vseh letih. K celotni koncentraciji radona prispeva 10 - 15 odstotkov, do leta 2008 pa smo ta prispevek cenili na četrtno.

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.

V letih obratovanja rudnika se je povečanje koncentracije radona gibalo med 6,2-9,3 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].

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 sta bila v 2008 jamska voda in izcedne vode odlagališča Boršt, medtem ko odlagališče Jazbec po izvedenih zaporalnih delih prispeva le še okoli 15 vseh emisij urana.

Glavni onesnaževalec z Ra-226 v letu 2008 ni bila jamska voda ampak odlagališče Boršt. Prispevka Boršta in jamske vode z odlagališčem Jazbec sta približno enaka.

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.

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 2008 podobne vrednostim v preteklih letih. Do leta 2002 je viden trend upadanja, predvsem zaradi intenzivnega nasipanja odlagališča Jazbec in s tem manjšega spiranja radionuklidov iz odlagališča. Trend zniževanja koncentracij U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice se je v letu 2003 ustavil, saj so se na odlagališču v obdobju 2004-2008 izvajala intenzivna dela. Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letu 2008 na ravni povprečja po koncu obratovanja rudnika. Koncentracije U-238 so v letih 2007 in 2008 višje kot v letih 2001 – 2005, kar povezujemo z intenzivnimi deli na odlagališčih.

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 (3 %). Pri tem smo upoštevali rezultate iz

prejšnjih let, saj v letu 2008 tovrstnih meritev ni bilo.

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. Ocenili smo, da je prispevek k celotni dozi zaradi uživanja hrane z vplivnega področja rudnika manjši od 0,030 mSv za odraslega prebivalca (28% celotne letne efektivne doze). Največjo dozo zaradi uživanja hrane prejmejo otroci stari deset let. Za otroke stare eno leto smo upoštevali, da uživajo le mleko iz okolice RŽV. V letu 2008 je IJS določil 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. Posledično je ocenjen prispevek k dozi za otroke stare eno leto manjši.

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.
8. Dodatno zunanje sevanje, ki izvira od virov RŽV je zelo majhno v primerjavi z naravnim ozadjem. Merljivo povečanje lahko opazimo le v neposredni bližini rudniških obratov in odlagališč, ne pa v širši poseljeni okolici. Zelo majhen je tudi imerzijski prispevek kratkoživih radonovih potomcev v zraku, ki znaša 1,1 μ Sv.

V okolici odlagališča Boršt smo izmerili povišano sevanje tudi do razdalje 200 metrov od odlagališča. Povečanje je lahko posledica lokalnih geoloških posebnosti in ne nujno vpliva odlagališča Boršt. S prekritjem večjega dela brežin odlagališča se je sevanje v okolici zmanjšalo. Lastniki okolišnih zemljišč so povišanemu sevanju izpostavljeni le v primeru večjih del na teh zemljiščih. Ocenjujemo, da je prejeta doza manjša od 1 μ Sv. Merljivega vpliva odlagališča Jazbec v letu 2008 nismo več izmerili.

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 2008 ocenili na 0,107 mSv. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,132 mSv in za otroke stare 1 leto 0,089 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. V letu 2008 smo uporabili enako metodologijo za oceno doz kot v 2007.

Izračunani dodatni prispevek k efektivni dozi okolišnega prebivalstva, zaradi posledice rudarjenja in predelave uranove rude, je bil v 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 (0,107 mSv) predstavlja približno deset odstotkov letne doze za prebivalstvo, ki jo določajo predpisi Republike Slovenije in mednarodna priporočila.

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, da se izvede meritve koncentracije radona proti Hotavljam (3 lokacije), proti Hlavčim njivam (2 lokaciji) in proti Lajšam ter Dobravščam (4-6 lokacij). Predlagamo, da se na vsako merilno lokacijo namestijo po trije detektorji sledi. Obenem predlagamo meritve hitrosti in smeri vetra v dolini Brebovščice med Todražom in Gorenjo vasjo. Iz meritev bi lahko določili hitrost potovanja rudniškega radona in ugotovili, kje naj bi bil prispevek rudniškega radona k obremenitvi prebivalstva največji. Domnevamo, da so se klimatske razmere v zadnjih 20 letih spremenile in morda vpliv rudniškega radona ni več največji v Gorenji Dobravi.*
- *Predlagamo ponovno ovrednotenje naravnega ozadja v vplivnem območju RŽV.*
- *Predlagamo kontinuirne meritve radona in potomcev (meritve koncentracij radonovih razpadnih produktov) na dveh lokacijah v Gorenji Dobravi in Gorenji vasi v letnem in zimskem terminu in določitev ravnovesnih faktorjev za radon na prostem in v hišah. Trenutno privzemamo v izračunih doze ravnovesni faktor 0,4, ki pa ga v lokalnem okolju RŽV nismo preverili z meritvami oziroma ocenili računsko.*
- *Predlagamo meritve ekshalacije radona na prekritih površinah odlagališč.*
- *Predlagamo, da se v vzorcih hrane (meso, zelenjava) določi vsebnosti radionuklidov z metodami, ki so bolj občutljive od metode visokoločljivostne spektrometrije gama. Pri tem je smiselno, da se zaradi visokih doznih koeficientov, opravijo tudi meritve Po-210.*

VII. REZULTATI MERITEV

VII.1. ZRAK

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2008

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

Mesto vzorčenja: Todraž (MP)

RADIONUKLID	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
²³⁸ U	0,035 ± 0,009	0,009 ± 0,004	0,007 ± 0,003	0,011 ± 0,005
²²⁶ Ra	0,0015 ± 0,0010	0,0120 ± 0,0008	0,0050 ± 0,001	0,005 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,58 ± 0,13	0,37 ± 0,09	0,58 ± 0,14	0,75 ± 0,18

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	0,003 ± 0,002	0,019 ± 0,006	0,016 ± 0,005	0,012 ± 0,004
²²⁶ Ra	0,0030 ± 0,0005	0,0022 ± 0,0008	0,002 ± 0,0008	0,0039 ± 0,0006
²¹⁰ Pb	0,52 ± 0,12	0,50 ± 0,12	0,65 ± 0,15	0,75 ± 0,18

Mesto vzorčenja: Debelo Brdo (MP)

RADIONUKLID	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
²³⁸ U	0,034 ± 0,007	0,015 ± 0,006	0,010 ± 0,005	0,003 ± 0,002
²²⁶ Ra	0,004 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,40 ± 0,09	0,60 ± 0,14	0,54 ± 0,13	0,72 ± 0,17

VII.1. ZRAK

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2008

Tabela VII.1.2. Koncentracija dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v aerosolih na odlagališčih Jazbec in Boršt

Mesto vzorčenja: Jazbec MP, pobočje nad objektom 106

RADIONUKLID	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
²³⁸ U	0,010 ± 0,004	0,013 ± 0,004	0,039 ± 0,009	0,025 ± 0,007
²²⁶ Ra	0,003 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,0071 ± 0,0011	0,005 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,62 ± 0,15	0,52 ± 0,12	0,80 ± 0,19	0,86 ± 0,20

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	0,007 ± 0,005	0,002 ± 0,002	0,008 ± 0,005	0,005 ± 0,004
²²⁶ Ra	0,003 ± 0,001	0,0052 ± 0,0008	0,0091 ± 0,0008	0,003 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,56 ± 0,13	0,49 ± 0,11	0,61 ± 0,14	0,69 ± 0,16

VII.1. ZRAK

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

Tabela VII.1.3. Četrtna povprečna 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	39 ± 6	66 ± 8	32 ± 5	36 ± 5	43 ± 6
Transportni trak	35 ± 5	52 ± 7	58 ± 7	23 ± 4	42 ± 6
Todraž (MP)	50 ± 7	56 ± 7	27 ± 5	26 ± 4	40 ± 6
Gorenja Dobrava (MP T.)	26 ± 5	38 ± 6	34 ± 5	21 ± 4	
Gorenja Dobrava (MP T.)	25 ± 5	30 ± 5	30 ± 5	30 ± 5	
Gorenja Dobrava (MP T.)	37 ± 6	31 ± 5	20 ± 4	18 ± 3	
Gorenja Dobrava (MP T.) povprečje	29 ± 5	33 ± 5	28 ± 5	23 ± 4	28 ± 4,7
Dolenja Dobrava (B. J.)	31 ± 5	28 ± 5	16 ± 4	33 ± 5	27 ± 5
Gorenja vas (MP, Brence)	36 ± 5	50 ± 6	19 ± 4	32 ± 5	
Gorenja vas (MP, Brence)	31 ± 5	44 ± 6	19 ± 4	26 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence)	26 ± 5	37 ± 5	19 ± 4	27 ± 4	
Gorenja vas (MP, Brence) povprečje	31 ± 5	44 ± 6	19 ± 4	28 ± 4	30 ± 5
ZVD- Ljubljana*	25 ± 3	19 ± 3	33 ± 4	28 ± 4	26 ± 4

DOLINA TODRAŠČICE					
Bačenski mlin	28 ± 5	26 ± 5	76 ± 8	29 ± 4	40 ± 6
JALOVIŠČI JAZBEC IN BORŠT					
Jazbec - zračna črpalka	42 ± 6	24 ± 4	15 ± 4	12 ± 3	23 ± 4
Boršt - zračna črpalka	29 ± 5	16 ± 4	21 ± 4	32 ± 5	25 ± 4

* primerjalna lokacija

VII.1. ZRAK

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

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

Dodatne meritve, 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	39 ± 6	26 ± 5	69 ± 8	32 ± 5	41 ± 6
Trafo Jazbec	36 ± 5	17 ± 4	15 ± 3	17 ± 3	21 ± 4
Spodnji rob travnika Jazbec	44 ± 6	23 ± 4	25 ± 5	26 ± 4	29 ± 5
Podlešan	28 ± 5	13 ± 3	15 ± 4	19 ± 4	19 ± 4
P9 - odlagališče	27 ± 5	22 ± 4	20 ± 4	28 ± 4	24 ± 4
P9 - hiša	18 ± 4	26 ± 5	29 ± 5	35 ± 5	27 ± 5
Kašč	25 ± 5	37 ± 5	8 ± 3	27 ± 4	24 ± 4
Vratarnica, v stavbi			43 ± 6	203 ± 16	123 ± 12
Miluška, v stavbi		89 ± 9	96 ± 10	172 ± 14	119 ± 11
Zelenica Upravna stavba		31 ± 5	43 ± 6	34 ± 5	36 ± 5
Boršt ovinek pri lubadarju	28 ± 5	21 ± 4	50 ± 6	38 ± 5	34 ± 5
Boršt zgoraj ob cesti	27 ± 5	8 ± 3	17 ± 4	28 ± 4	20 ± 4
Boršt zgornja etaža	67 ± 8	42 ± 6	59 ± 7	103 ± 10	68 ± 8
Boršt kozolci	49 ± 6	15 ± 4	52 ± 7	27 ± 4	36 ± 5
Bačenski mlin	67 ± 8	29 ± 5	48 ± 6	32 ± 5	44 ± 6
Dolenja Dobrava Markelj		30 ± 5	20 ± 4	31 ± 5	27 ± 4
Gorenja vas Ferlan		49 ± 6	24 ± 4	33 ± 5	35 ± 5
Srednja vas Čadež		22 ± 4	25 ± 4	29 ± 4	25 ± 4

VII.1 ZRAK

Koncentracije radona v okolici Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi ter v Ljubljani

Prerez v profilu doline Brebovščice

Leto: 2008

Tabela VII.1.4. Koncentracije radona po dolini Brebovščice - višinski prerez

Datum merjenja		30.06. - 02.07.	08.12.-10.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Jazbec-hiša Podlešan	550	11,9 ± 1,8	23,6 ± 3,6
Jazbec, zgornji rob brežine	512	12,8 ± 2,1	47,7 ± 7,4
Jazbec, plato pred P-11	496	30,8 ± 4,7	58,1 ± 9,1
Brebovnica	446	36,1 ± 5,6	40,4 ± 6,2
Jazbec, MP spodaj	430	54,6 ± 8,4	46,4 ± 7,1
Transportni trak	422	37,4 ± 5,7	57,0 ± 8,7
Todraž (MP)	411	23,3 ± 3,8	40,3 ± 6,1
Gorenja Dobrava (MP Tavčar)	405	23,9 ± 3,8	36,0 ± 5,6
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	22,5 ± 3,6	28,2 ± 4,4
Gorenja vas (MP, Brence)	402	21,7 ± 3,3	28,3 ± 4,3
ZVD - Ljubljana	300	11,8 ± 1,8	48,0 ± 7,5

VII.1 ZRAK

Koncentracije radona v okolici Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi ter v Ljubljani

Prerez v profilu jalovišča Boršt in doline Todraščice

Leto: 2008

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

Datum merjenja		30.06. - 02.07.	08.12.-10.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	20,1 ± 3,1	27,2 ± 4,2
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	15,1 ± 2,3	50,2 ± 7,7
Boršt-kozolci pod jaloviščem	520	21,1 ± 3,5	47,8 ± 7,3
Boršt-pri Potokarju	485	22,9 ± 3,5	41,4 ± 6,4
Debelo brdo (MP)	575	7,8 ± 1,3	19,9 ± 3,1
Bačenski mlin (MP)	457	31,5 ± 4,9	46,8 ± 7,1
Todraž (MP)	411	23,3 ± 3,8	40,3 ± 6,1
Gorenja Dobrava (MP)	405	23,9 ± 3,8	36,0 ± 5,6
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	22,5 ± 3,6	28,2 ± 4,4
Gorenja vas (MP, Brence)	402	21,7 ± 3,3	28,3 ± 4,3
ZVD - Ljubljana	300	11,8 ± 1,8	48,0 ± 7,5

VII.1 ZRAK

Koncentracije radona znotraj kontroliranega področja Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi

Prerez v profilu odlagališča Jazbec

Leto: 2008

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

Datum merjenja		30.06. - 02.07.	08.12.-10.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Jazbec, zgornji rob brežine	512	12,8 ± 2,1	47,7 ± 7,4
Jazbec, plato pred P-11	496	30,8 ± 4,7	58,1 ± 9,1
Jazbec, MP spodaj	430	54,6 ± 8,4	46,4 ± 7,1
Transportni trak	422	37,4 ± 5,7	57,0 ± 8,7
Gorenja vas (MP, Brence)	402	21,7 ± 3,3	28,3 ± 4,3

VII.1 ZRAK

Koncentracije radona znotraj kontroliranega področja Rudnika Žirovski vrh in na referenčni lokaciji v Gorenji vasi

Prerez v profilu odlagališča Boršt

Leto: 2008

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

Datum merjenja		30.06. - 02.07.	08.12.-10.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	20,1 ± 3,1	27,2 ± 4,2
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	15,1 ± 2,3	50,2 ± 7,7
Boršt-kozolci pod jaloviščem	533	21,1 ± 3,5	47,8 ± 7,3
Boršt-pri Potokarju	485	22,9 ± 3,5	41,4 ± 6,4
Gorenja vas (MP, Brence)	402	21,7 ± 3,3	28,3 ± 4,3

VII.2 VODA

Tabela VII.2.1: Koncentracija raztopljenega U-238 v Brebovščici v Gorenji Dobravi in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico ter povprečni mesečni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2008

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	155 ± 6	0,69	83 ± 4	0,10
Februar	133 ± 5	0,45	63 ± 3	0,06
Marec	128 ± 5	0,78	143 ± 6	0,10
April	76,5 ± 3,6	1,52	133 ± 6	0,19
Maj	143 ± 7	0,57	133 ± 5	0,07
Junij	133 ± 8	0,94	184 ± 10	0,09
Julij	126 ± 7	0,91	104 ± 6	0,14
Avgust	170 ± 10	0,62	120 ± 8	0,05
September	313 ± 17	0,10	138 ± 8	0,02
Oktober	281 ± 14	0,27	121 ± 6	0,09
November	477 ± 23	0,75	287 ± 15	0,19
December	64 ± 3	2,23	53 ± 2	0,59
Povprečje	183 ± 11	0,82	130 ± 7	0,14

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju, Laboratorij za radiokemijo

VII.2 VODA

Tabela VII.2.2: Koncentracija raztopljenega Ra-226 v Brebovščici v Gorenji Dobravi in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico ter povprečni mesečni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2008

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	4,8 ± 0,4	0,69	8,4 ± 0,5	0,10
Februar	3,8 ± 0,3	0,45	5,8 ± 0,4	0,06
Marec	4,3 ± 0,3	0,78	6,8 ± 0,4	0,10
April	4,0 ± 0,3	1,52	7,1 ± 0,5	0,19
Maj	3,9 ± 0,3	0,57	6,6 ± 0,4	0,07
Junij	4,3 ± 0,3	0,94	9,2 ± 0,6	0,09
Julij	7,6 ± 0,4	0,91	17,4 ± 0,9	0,14
Avgust	9,5 ± 0,5	0,62	17,2 ± 0,9	0,05
September	8,6 ± 0,4	0,10	13,1 ± 0,6	0,02
Oktober	9,4 ± 0,6	0,27	15,6 ± 0,8	0,09
November	5,2 ± 0,3	0,75	7,9 ± 0,4	0,19
December	3,3 ± 0,2	2,23	4,3 ± 0,2	0,59
Povprečje	5,7 ± 0,4	0,82	10,0 ± 0,6	0,14

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju, Laboratorij za radiokemijo

VII.2 VODA

Tabela VII.2.3: Koncentracija raztopljenega Pb-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi in v Todraščici pred izlivom v Brebovščico ter povprečni mesečni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2008

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
Januar	8,0 ± 1,6	0,69		0,10
Februar	10,6 ± 3,0	0,45		0,06
Marec	5,6 ± 1,4	0,78		0,10
April	8,5 ± 2,9	1,52		0,19
Maj	6,1 ± 1,9	0,57		0,07
Junij	6,0 ± 1,9	0,94		0,09
Julij	13,1 ± 5,7	0,91		0,14
Avgust	6,2 ± 3,2	0,62		0,05
September	7,8 ± 2,1	0,10		0,02
Oktober	3,6 ± 1,2	0,27		0,09
November	11,2 ± 8,1	0,75		0,19
December	5,7 ± 1,7	2,23		0,59
I. kvartal			3,3 ± 0,7	0,09
II. kvartal			2,4 ± 0,7	0,12
III. kvartal			6 ± 0,7	0,07
IV. kvartal			2,8 ± 0,8	0,29
Povprečje	7,7 ± 3,5	0,82	3,7 ± 0,7	0,14

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju, Laboratorij za radiokemijo

VII.2 VODA

**Tabela VII.2.4: Koncentracija raztopljenega Po-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi
ter povprečni četrtletni pretok Brebovščice v letu 2008**

	BREBOVŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	2,31 ± 0,42	0,64
II. kvartal	1,2 ± 0,3	1,01
III. kvartal	6,6 ± 3,9	0,54
IV. kvartal	2,2 ± 2,1	1,08
Povprečje	3,1 ± 2,2	0,82

**Tabela VII.2.5: Koncentracija raztopljenega Th-230 v Brebovščici v Gorenji Dobravi
ter povprečni četrtletni pretok Brebovščice v letu 2008**

	BREBOVŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	0,28 ± 0,05	0,64
II. kvartal	0,38 ± 0,05	1,01
III. kvartal	0,53 ± 0,06	0,54
IV. kvartal	0,48 ± 0,06	1,08
Povprečje	0,42 ± 0,06	0,82

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju, Laboratorij za radiokemijo

VII.2 VODA

Meritve radioaktivnosti podtalnice v okolju RŽV

Tabela VII.2.6 Koncentracije urana v vrtinah na lokaciji RŽV in v okoliških vodnjakih

Oznaka vrtine	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Todraž			
BS 30	24 ± 1	3,3 ± 0,2	6,7 ± 1,7
Mrzlek	160 ± 5	4,7 ± 0,4	11,3 ± 2,4
Vodnjaki			
Dolenja Dobrava	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Dermota	9 ± 0,2	6,7 ± 0,4	16,7 ± 1,6

Meritve opravljene na IJS, Odsek za znanosti o okolju, Laboratorij za radiokemijo

VII.3 SEDIMENTI

Lokacija: Brebovščica po

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

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

IZOTOP	1. polletje			2. polletje		
	Bq/kg			Bq/kg		
U-238	110	±	7	73	±	6
Ra-226	110	±	9	81	±	6
Pb-210	100	±	7	78	±	7
Th-230	110	±	40	< 100		

VII.4. KMETIJSKI PRIDELKI. HRANA. KRMA

Tabela VII.4.1.: Vsebnost U-238, Ra-226 in Pb-210 v vzorcih lišajev in mahov s področja RŽV

Lokacija (lišaj)	Koncentracija (Bq/kg svežega vzorca)		
	U-238	Ra-226	Pb-210
Boršt, mah	6,2 ± 1,6	6,2 ± 0,4	524 ± 120
Jazbec, mah	2,8 ± 1,4	10,4 ± 0,5	566 ± 130
Gorenja vas, lišaj	< 12	1,5 ± 0,4	1153 ± 267

VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

DATUM MERITEV: 13.10.2008

VII.5.1. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
A 1	0,31	A 11	0,12
A 2	0,23	A 12	0,12
A 3	0,22	A 13	0,16
A 4	0,18	A 14	0,20
A 5	0,19	A 15	0,18
A 6	0,16	A 16	0,17
A 7	0,16	A 17	0,16
A 8	0,14	A 18	0,15
A 9	0,15	A 19	0,16
A 10	0,15		
B 1	0,26	B 14	0,10
B 2	0,23	B 15	0,10
B 3	0,14	B 16	0,10
B 4	0,13	B 17	0,10
B 5	0,11	B 18	0,10
B 6	0,11	B 19	0,10
B 7	0,12	B 20	0,10
B 8	0,11	B 21	0,10
B 9	0,13	B 22	0,09
B 10	0,12	B 23	0,10
B 11	0,11	B 24	0,09
B 12	0,13	B 25	0,10
B 13	0,10		

VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.1. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
C 1	0,25	C 11	0,16
C 2	0,18	C 12	0,13
C 3	0,14	C 13	0,12
C 4	0,16	C 14	0,14
C 5	0,14	C 15	0,13
C 6	0,16	C 16	0,13
C 7	0,17	C 17	0,13
C 8	0,14	C 18	0,13
C 9	0,13	C 19	0,12
C 10	0,13		

VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.1. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
D 1	0,25	E 1	0,35
D 2	0,18	E 2	0,30
D 3	0,18	E 3	0,12
D 4	0,16	E 4	0,13
D 5	0,19	E 5	0,13
D 6	0,14	E 6	0,12
D 7	0,15	E 7	0,12
D 8	0,12	E 8	0,12
D 9	0,12	E 9	0,13
D 10	0,16	E 10	0,11
D 11	0,16		
D 12	0,12		
D 13	0,12		
F 1	0,16		
F 2	0,15		
F 3	0,17		
F 4	0,14		
F 5	0,16		
F 6	0,12		
F 7	0,14		
F 8	0,13		

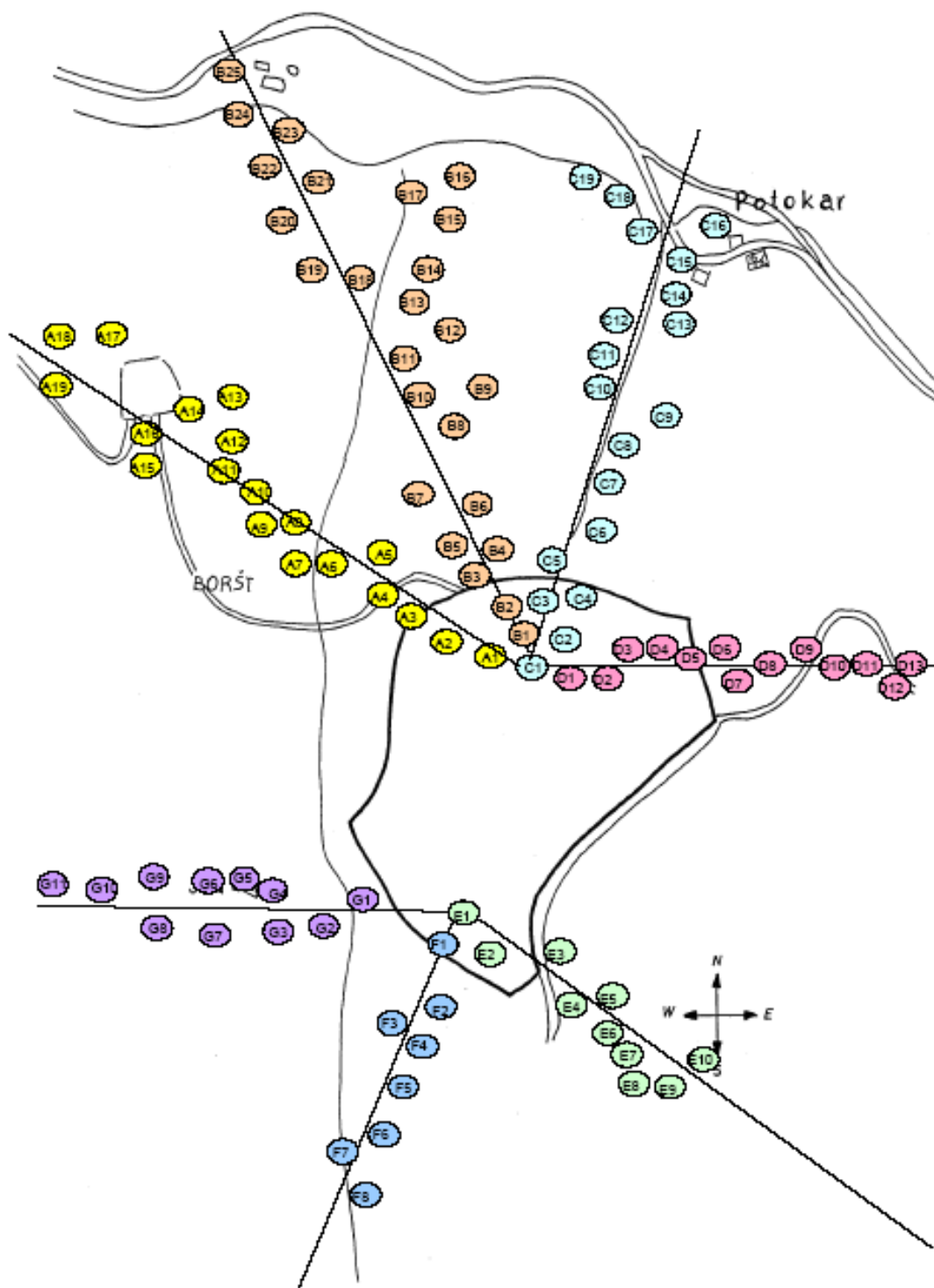
VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.1. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja Hitrost okoliškega
 ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)

G 1	0,15
G 2	0,13
G 3	0,13
G 4	0,14
G 5	0,11
G 6	0,12
G 7	0,13
G 8	0,13
G 9	0,14
G 10	0,15
G 11	0,18
G 12	0,15
G 13	0,13
G 14	0,14

Odlagalište Boršt



VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.2. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Jazbec

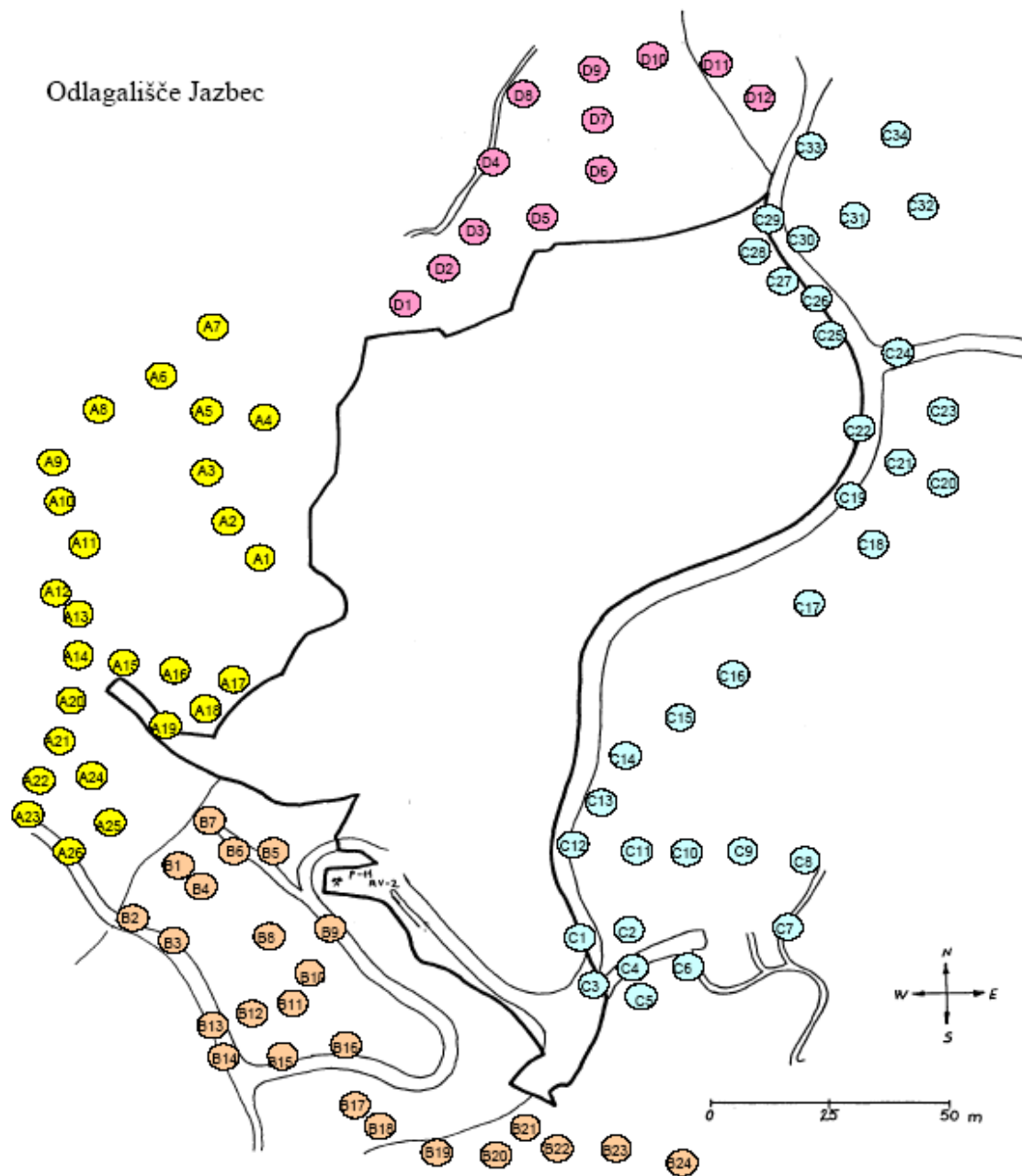
Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
A 1	0,11	A 14	0,13 0,104
A 2	0,10	A 15	0,12 0,096
A 3	0,08	A 16	0,09 0,072
A 4	0,09	A 17	0,12 0,096
A 5	0,09	A 18	0,10 0,0832
A 6	0,10	A 19	0,13 0,104
A 7	0,10	A 20	0,12 0,096
A 8	0,11	A 21	0,13 0,104
A 9	0,15	A 22	0,12 0,096
A 10	0,12	A 23	0,10 0,0832
A 11	0,09	A 24	0,10 0,0832
A 12	0,09	A 25	0,11 0,0896
A 13	0,10	A 26	0,09 0,0704
B 1	0,12	B 13	0,10
B 2	0,09	B 14	0,10
B 3	0,07	B 15	0,09
B 4	0,11	B 16	0,10
B 5	0,11	B 17	0,09
B 6	0,10	B 18	0,11
B 7	0,09	B 19	0,09
B 8	0,14	B 20	0,10
B 9	0,13	B 21	0,08
B 10	0,12	B 22	0,09
B 11	0,10	B 23	0,08
B 12	0,12	B 24	0,08

VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.2. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Jazbec

Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
C 1	0,12	C 18	0,12
C 2	0,10	C 19	0,13
C 3	0,10	C 20	0,12
C 4	0,13	C 21	0,11
C 5	0,13	C 22	0,12
C 6	0,12	C 23	0,12
C 7	0,12	C 24	0,13
C 8	0,11	C 25	0,12
C 9	0,12	C 26	0,11
C 10	0,11	C 27	0,14
C 11	0,12	C 28	0,14
C 12	0,13	C 29	0,13
C 13	0,11	C 30	0,13
C 14	0,12	C 31	0,14
C 15	0,12	C 32	0,12
C 16	0,12	C 33	0,13
C 17	0,11	C 34	0,12
D 1	0,12	D 7	0,10
D 2	0,11	D 8	0,11
D 3	0,10	D 9	0,10
D 4	0,10	D 10	0,09
D 5	0,11	D 11	0,11
D 6	0,10	D 12	0,09

Odlagališče Jazbec



VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

Tabela VII.5.3. Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Rezultati so podani v mSv

	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	Letna doza
Todraž*	0,278	0,228	0,225	0,189	0,920
Jazbec	0,258	0,227	0,258	0,212	0,955
Boršt	0,332	0,298	0,338	0,274	1,242

* V drugem trimesečju 2008 je bila lokacija meritev (merilna postaja) prestavljena s travnika na novo zgrajeno merilno postajo na betonski plošči.

LITERATURA

- [1] Regulatory Guide 4.14, "Radiological Effluent and Environmental Monitoring at Uranium Mills," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1980
- [2] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in interevencijskih nivojih, Ur. L. RS št. 49/2004.
- [3] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, 115/2003.
- [4] T. Beck: Interlaboratory Comparison 2007 of passive instruments to measure radon activity concentration or exposure to radon, BfS, 2007
- [5] C. B. Howarth: Results of the 2005 Health Protection Agency Intercomparison of Passive Radon Detectors, HPA-RPD-035, HPA, 2008
- [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 [sup]210Pb and [sup]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
- [25] G. Omahen, B. Smodiš, M. Štrok, Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, 2007