

IJS Delovno Poročilo
IJS-DP-štev. 9882
Ljubljana, april 2008

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI
V OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH
MED IZVAJANJEM PROGRAMA TRAJNEGA PRENEHANJA
IZKORIŠČANJA URANOVE RUDE
IN
OCENA VPLIVOV NA OKOLJE**

POROČILO ZA LETO 2007



Ljubljana, april 2008

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





Naročnik: RUDNIK ŽIROVSKI VRH, p.o.
Todraž 1, 4224 Gorenja vas

Izvajalca: Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana

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

Pogodba št.: U3-BR-O2-16/07

Nosilec naloge: doc. dr. Borut Smodiš

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti v okolju Rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in 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.

Y-
Borut Smodiš
Marko Štrok

Izvajalci meritev:

Institut »Jožef Stefan«:

doc. dr. Borut Smodiš, Marko Štrok, univ.dipl. inž. kem. tehnol., doc. dr. Janja Vaupotič, dr. Matjaž Korun, dr. Marjan Nečemer, mag. Branko Vodenik, dr. Tim Vidmar, Janja Smrke, Stojan Žigon, Petra Dujmović

Zavod za varstvo pri delu: dr. Gregor Omahen, Tanja Pugelj, univ. dipl. inž. kem., Peter Jovanovič, inž. fiz., Dušan Konda, Majda Levstek, Lili Peršin

Številka delovnega poročila: IJS-DP-9882

Kopije:

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

Pregledala:

dr. Zvonka Jeran

Z. Jeran

Nosilec naloge: doc. dr. Borut Smodiš

Borut Smodiš

Vodja organizacijske enote: prof. dr. Milena Horvat

M. Horvat

IJS-DP-9882



NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH
MED IZVAJANJEM PROGRAMA TRAJNEGA PRENEHANJA IZKORIŠČANJA
URANOVE RUDE IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE**

Avtorji:

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

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 2007 so pokazale, da znaša ocenjena skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana za odraslega prebivalca 0,23 mSv, za otroka starega 10 let 0,25 mSv in za otroka starega 1 leto 0,28 mSv kar predstavlja približno četrtno 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 Štrok

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 2007 was about 0,23 mSv, for 10 years old child 0,25 mSv and for 1 year old child 0,28 mSv. This represents approximately one fourth 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 2007	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.....	20
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA	22
III.2.1 Vodotoki	22
III.2.2 Podtalnica	25
III.3 SEDIMENTI	26
III.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	28
III.4.1 Zunanje sevanje v okolici odlagališča HMJ na Borštu	29
III.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč jamske jalovine Jazbec	29
IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA	30
IV.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	30
IV.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	30
IV.1.2 Rn-222, inhalacija.....	31
IV.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	32
IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....	33
IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije - hrana.....	34
IV.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda.....	35
IV.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....	36
IV.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	36
IV.3.2 Radon-222 in radonovi potomci.....	36
IV.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV.....	38
V. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE	40
VI. PREDLOGI.....	43
VII. REZULTATI MERITEV	44
VIII. LITERATURA	68

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) [3] 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, meritve koncentracije radona s kasetami na aktivno oglje, meritve koncentracije radonovih razpadnih produktov, meritve ekshalacije radona, meritve koncentracije radionuklidov v zemlji in meritve koncentracije radionuklidov v krmi. Prav tako je bil obseg meritev koncentracij radionuklidov v sedimentih, vodi in meritev zunanjega sevanja precej zmanjšan. Opuščena so bila vzorčenja in analize, pri katerih so bile vrednosti analiz vzorcev v preteklih letih na meji detekcije uporabljenih metod. Prispevki k dozi pa majhni oziroma zanemarljivi in se v zadnjih letih niso spreminjali. Pri vseh je bil opazen trend upadanja zaradi opustitve izvajanja del in postopnega saniranja rudniških objektov. Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, za katere se meritve v po letu 2005 ne izvajajo, so se pri izračunu skupne izpostavljenosti privzele vrednosti iz leta 2005.

Najpomembnejši del programa v letu 2007 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 2007 zajemal meritve koncentracij najpomembnejših dolgoživih radionuklidov v mesečnih vzorcih Brebovščice in Todraščice, ki sta najbolj onesnažena vodotoka. V preteklih letih se je izkazalo, da je prispevek k obsevanosti prebivalstva po vodni poti zelo majhen, saj je radioaktivnost v površinskih vodah od 5-10 % mejne vrednosti za pitno vodo (Ur.L RS št. 49, 2004, [4]). V program so bile vključene meritve sedimentov v Brebovščici po dotoku vseh iztek iz RŽV. Meritev sedimentov v Todraščici in Sori program nadzora po letu 2005 ne zajema.

V letu 2007 smo, tako kot v letih 1992 - 2007, izvedli meritve zunanjske gama sevanja v okolici odlagališč jamske jalovine. V primerjavi z nadzorom v obdobju 1992- 2005 smo izvajali meritve zunanjske sevanja s termoluminiscentnimi dozimetri le na odlagališčih Boršt in Jazbec, pogostost meritev pa ni bila mesečna kot v preteklih letih, temveč kvartalna. 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 zunanjske 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 2007 sta izvajala Inštitut "Jožef Stefan" kot nosilec projekta in ZVD Zavod za varstvo pri delu kot podizvajalec, ki je kot pooblaščen izvedenc varstva pred sevanji tudi ocenil doze.

V letu 2007 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. V primerjavi z letom 2006 smo dodali oceno doze za enoletnega in desetletnega otroka. Tako so v poročilu za leto 2007 izračunane učinkovite doze predstavnikov referenčne skupine, ki živi v vplivnem območju RŽV, v skladu s Pravilnikom o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur.L RS št. 115/2003 [5]).

I. METODE MERJENJA

Metode vzorčevanja in določevanja radionuklidov se v letu 2007 ne razlikujejo od metod v preteklih letih.

I.1 Zrak

I.1.1 Trdne zračne delce (aerosole) zbiramo kontinuirano s črpanjem zraka preko papirnih filtrov (povprečni pretok zraka 18 m^3 na uro). Trimesečne sestavljene vzorce zračnih filtrov upepelimo pri temperaturi do 450°C in z metodo visokoločljivostne (VL) spektrometrije gama na germanijevem detektorju določimo dolgožive radionuklide U-238, Ra-226 in Pb-210. Detektor redno umerjamo s standardnimi vzorci in točkastimi viri. Izvajalec meritev ZVD ima metodo akreditirano po standardu SIST ISO 17025. Orientacijske meje detekcije za radionuklide v zraku so ob prečrpani količini $10\,000 \text{ m}^3$ 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 obdobij; 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 [6][7]. Metoda omogoča merjenje koncentracij Rn-222 do nekaj Bq/m^3 .

Drugi način je adsorbcija radona na aktivnem oglju in je primerna za določanje radona v krajšem časovnem obdobju. Ogleni adsorber za dva dni postavimo na merilno mesto in nato izmerimo zbrano aktivnost preko kratkoživih radonovih potomcev Pb-214 in Bi-214 z metodo VL spektrometrije gama. Metoda je zelo občutljiva in omogoča meritve koncentracij Rn-222 do $2\text{-}3 \text{ Bq/m}^3$. Ogleni adsorberji so bili umerjeni na BFS v Nemčiji, Institut für Strahlenhygiene, na interkalibracijah evropske skupnosti v NRPB v Veliki Britaniji in redno 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 na merjenju črte gama U-239 na HP Ge detektorju z izvrtino [8]. Kemijski izkoristek smo določili z sledilcem U-235. Spodnja meja občutljivosti metode je nekaj $\mu\text{g}/\text{m}^3$, eksperimentalna negotovost analize je manjša od 5-10 %.

Detektor smo umerili s standardnimi viri (Analytics, ZDA), umeritev pa preverjali z interkomparacijami na Mednarodni agenciji za atomsko energijo in s primerjalnimi medlaboratorijskimi meritvami v okviru programa nadzora NEK.

- I.2.2 Raztopljeni Ra-226 v vodi smo določali po sorpcijsko emanacijski metodi [9] tako, da smo Ra-226 najprej skoncentrirali na ionskem izmenjevalcu, iz njega nastali Rn-222 prepihali v scintilacijsko celico in merili alfa aktivnost v scintilacijski celici. Občutljivost metode je $0,5 \text{ Bq}/\text{m}^3$, eksperimentalna negotovost pa do 20 %.
- I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem površinskih vod najprej dodali znano aktivnost Po-209, nato pa vzorce skoncentrirali s soobarjanjem z MnO_2 . Po radiokemijski osamitvi smo z alfa spektrometrom določili vsebnost Po-210. Alfa spektrometer smo umerili s standardnimi alfa izvori (Amersham). Po radiokemijski osamitvi smo določili še Pb-210 na osnovi beta aktivnosti njegovega potomca Bi-210 [10]. Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Amersham). Meje detekcije so za Pb-210 $2 \text{ Bq}/\text{m}^3$ in za Po-210 $0,03 \text{ Bq}/\text{m}^3$.
- I.2.4 Th-230 smo v raztopinah določali tako, da smo vzorcem površinskih vod najprej dodali znano aktivnost Th-229, nato radionuklide skoncentrirali na $\text{Fe}(\text{OH})_3$, separirali z uporabo ekstrakcijskih rezin (TEVA, Eichrom Technologies, Inc.), pripravili tankoplasti vir s postopkom mikroprecipitacije z NdF_3 in izmerili aktivnost z alfa spektrometrom (Eichrom Technologies, Inc., ACW10). Detektor alfa smo umerili s standardnim virom Th-230. Radiokemijski izkoristek smo določili pri vsaki meritvi posebej. Meje detekcije so $0,03 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

I.3 Sedimenti

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

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

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

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 metode 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 2007

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 metoda z oglenimi adsorberji (dvodnevno povprečje), VL gama spektrometrija	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	
MP Jazbec, spodnji rob odlagal.	polletno			2x1	
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 gama spektrometrija	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, TODRAŠČICA IN SORA					
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 – specifična VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.2. Ra-226, VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.3. Pb-210, VL gama spektrometrija	MP Gor. Dobrava (Brebovščica)	sediment	polletno kontinuirno vzorč.	polletno	2x1
3.4. Th-230, VL gama spektrometrija	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 povprečje 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 2007 so zbrani v tabelah (Tabeli VII.1.1 in VII.1.2). Vrednosti dolgoživih radionuklidov v zraku so nižje od povprečnih vrednosti v obdobju 2003 – 2006, kar je verjetno posledica rednega vlaženja in pranja vozniških površin pri delih na Jazbecu in s tem majhnega prašenja. 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.

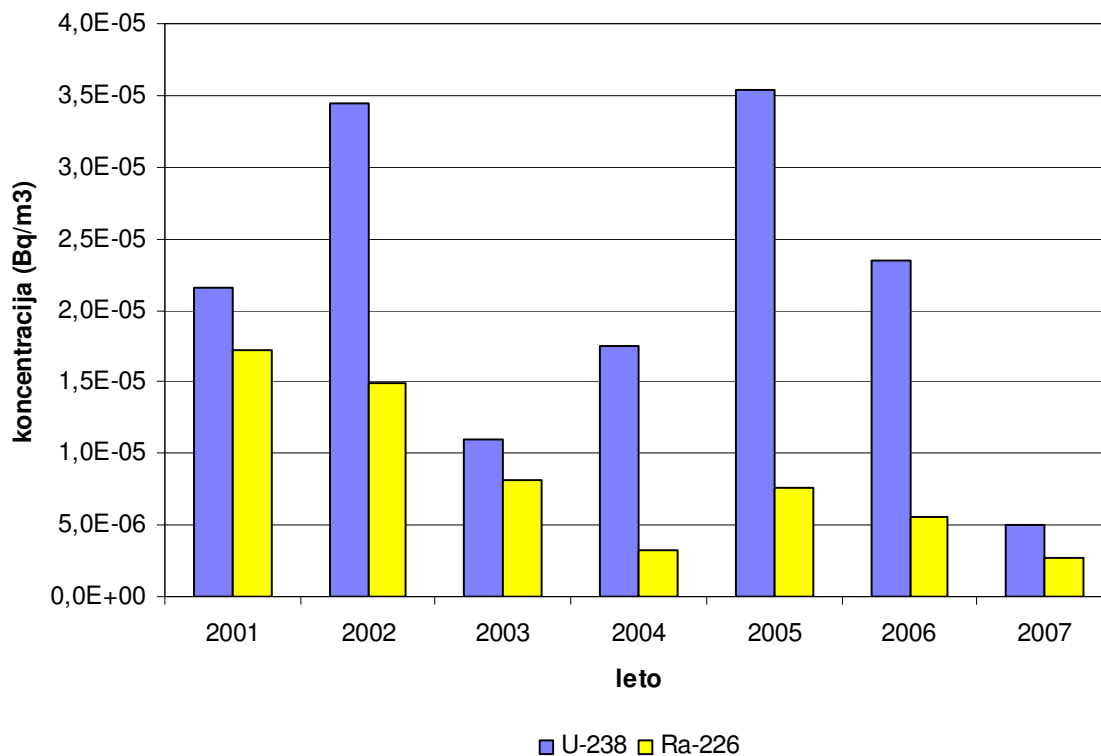
Za uran se koncentracije v Gorenji Dobravi in Todražu gibljejo med $0,002-0,011 \text{ mBq/m}^3$, za radij pa med $0,002$ in $0,006 \text{ mBq/m}^3$. Koncentracije urana in radija so v Todražu za približno faktor 2 nižje od povprečne vrednosti v obdobju 2001 – 2006. Primerjava koncentracij U-238 in Ra-226 v letu 2007 s koncentracijami v preteklih obdobjih je podana v tabeli (Tabela II-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.

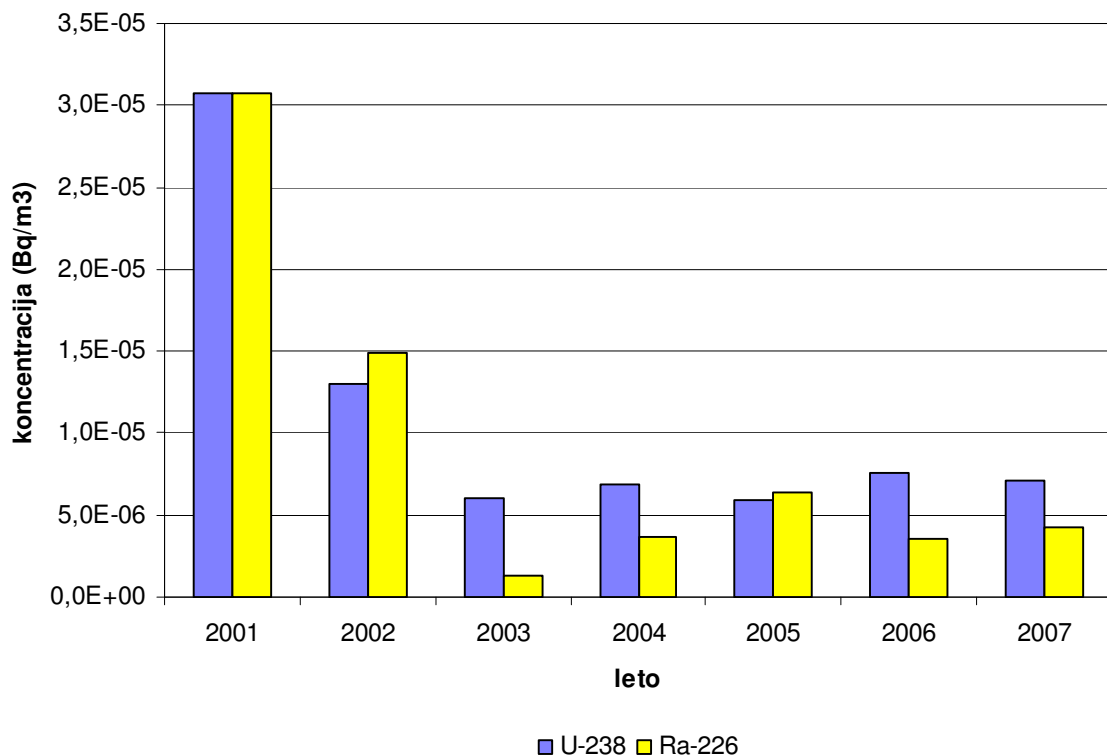
Koncentracije Pb-210 so v okviru vrednosti iz preteklih let. Večji del Pb-210 v zraku v aerosolih je posledica razpada radonovih potomcev v zraku, le manjši del izvira iz dolgoživih radionuklidov. Koncentracije Pb-210 bile v letu 2007 v Todražu, Gorenji Dobravi in Debelem Brdu nižje od povprečja zadnjih petih 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	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Todraž								
U-238	0,05-0,10	0,015-0,026	0,004-0,089	0,007-0,018	0,003-0,033	0,003-0,078	0,012-0,038	0,002-0,008
Ra-226	0,03-0,06	0,013-0,024	0,001-0,047	0,003-0,014	0,001-0,009	0,001-0,016	0,004-0,009	0,002-0,004
Gorenja Dobrava								
U-238	0,03-0,08	0,016-0,052	0,002-0,027	0,001-0,011	0,001-0,018	0,006-0,009	0,005-0,011	0,003-0,011
Ra-226	0,02-0,04	0,006-0,063	0,001-0,039	0,003-0,011	0,001-0,010	0,001-0,002	0,001-0,007	0,002-0,006



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, nadaljevalo se je izdelovanje prekrivne plasti in zatravitev, tako da je nepokrita le še zgornja etaža odlagališča (okoli 40% celotne površine odlagališča).

Zaradi sanacije propusta pod odlagališčem, so bila vhodna vrata v propust odprta od sredine spetembra do sredine decembra 2007, torej približno 3 mesece. Ocenjene emisije radona iz tega vira so 3 GBq.

Na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt so v letu 2007 potekala predvsem dela končne ureditve odlagališča povezana z ureditvijo drenaž. Zaradi izvajanja del na HMJ Boršt povečanih izpustov radona v okolje ni bilo.

Za izračun prispevka rudnika upoštevamo razliko koncentracij radona v Gorenji Dobravi in Gorenji vasi, kjer vpliva praviloma ni zaznati. Pri tem smo uporabili rezultate koncentracij Rn-222 izmerjene z detektorji sledi (Tabela VII.1.3).

Iz omenjene tabele ocenimo prispevek RŽV v letu 2007:

$$\text{povečanje konc. Rn} - 222 = (30,5 \pm 5,3) - (21,7 \pm 4,8) \text{ Bq/m}^3 = 8,8 \pm 2,2 \text{ Bq/m}^3 \quad .$$

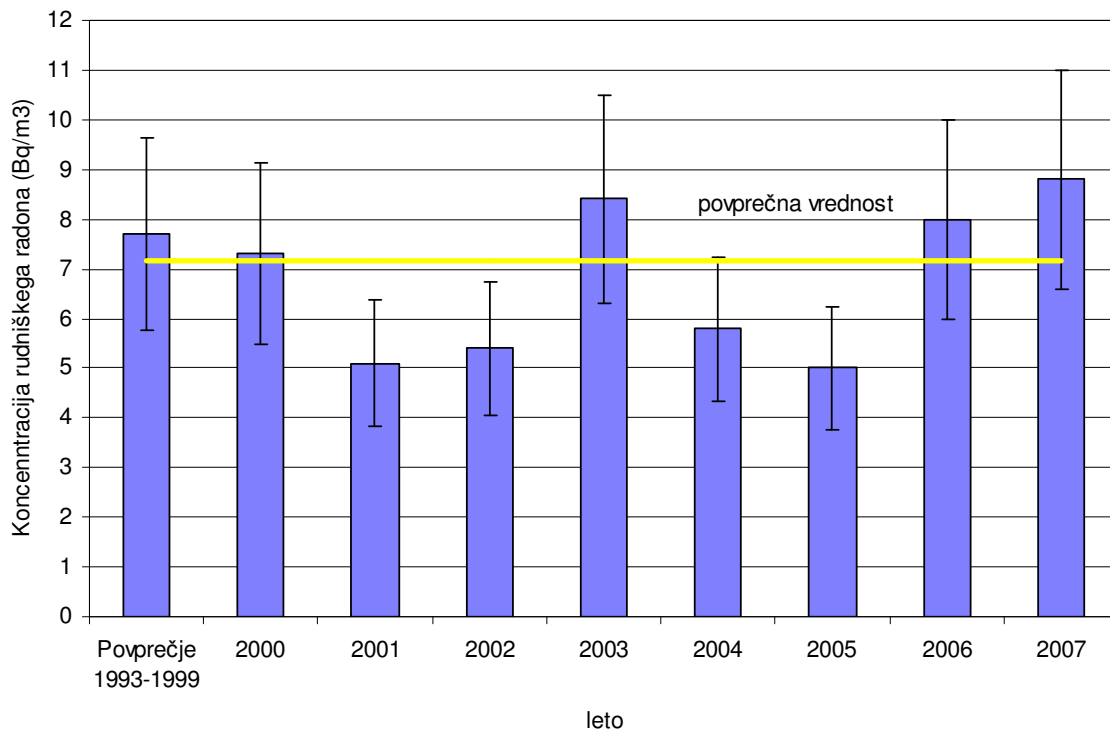
Prispevek rudnika k povečanim koncentracijam radona v okolju pod Žirovskim vrhom je v letu 2007 podoben kot v letih od 1993 dalje. V letu 2007 je RŽV izvajal prekrivanja površin na Jazbecu, kar naj bi vplivalo na zmanjšanje emisij radona. Zmanjšanje je opazno na merilni postaji Jazbec in na merilni postaji Pod transpornim trakom, sprememb pa nismo opazili v Todražu in po dolini navzdol. Razlike po letih so bolj posledica sipanja rezultatov oziroma merskih negotovosti in specifičnih vremenskih razmer, kot pa vpliva intenzivnih del na odlagališčih.

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, kar pri oceni prispevka povečanja koncentracije radona zaradi RŽV, pomeni negotovost 2,2 Bq/m³ ob faktorju pokritja 1, ali relativno 25% za leto 2007. Podobni prispevki k negotovosti veljajo tudi pri ocenah v preteklih letih.

Iz tabele (Tabela III-2) in slike (Slika 3) lahko ugotovimo, da se prispevki h koncentraciji radona zaradi rudnika postopoma umirjajo na nižji ravni kot je bila pred letom 2000. Prispevki k merilni negotovosti pred letom 2007 niso ocenjeni, so pa zelo podobni oceni za leto 2007.

Tabela III-2: Prispevek rudnika h koncentraciji Rn-222 po posameznih letih (Bq/m³)

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



Slika 3: Prispevek rudniškega Rn-222 k celotni koncentraciji Rn-222 v okolju

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2007 je $7,18 \text{ Bq/m}^3$.

Po letu 2005 smo prenehali z izvajanjem mesečnih meritev dvodnevni koncentracije Rn-222 po dolini Brebovščice med Gorenjo vasjo in Brebovnico 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. Izmerjene vrednosti so v okviru vrednosti izmerjenih v preteklih letih. Rezultati so podani v tabeli (Tabela II-3). Ob tem je potrebno poudariti, da je povprečna vrednost izračunana le iz dveh meritev, letne in zimske in da je posledično obremenjena z veliko negotovostjo.

Tako kot v preteklih letih je v letu 2007 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 2007. Najnižje koncentracije v tem času namerimo nad inverzijsko mejo v Debelem Brdu, ki leži nad povprečno višino inverzijske meje.

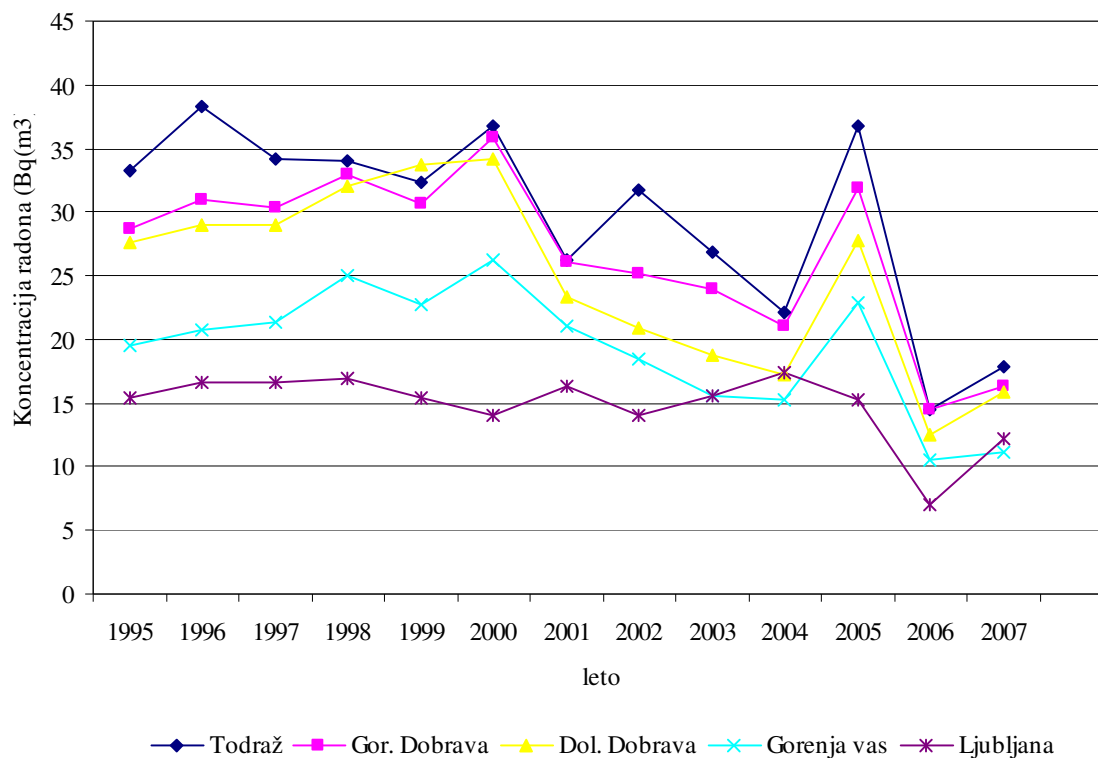
Tabela III-3: Koncentracija Rn-222 v okolici rudnika urana Žirovski vrh merjeno z ogljenimi adsorberji

Lokacija	Oddaljenost od obratov RŽV	Koncentracija Rn-222 (Bq/m ³)
		Povprečje 2007
Todraž	0,4 km	17,8 ± 3,0
Gorenja Dobrava	1,4 km	16,3 ± 2,7
Dolenja Dobrava	1,8 km	15,9 ± 2,7
Gorenja vas	2,6 km	11,1 ± 1,8
<i>Ljubljana</i>	<i>26 km</i>	<i>12,2 ± 2,2</i>

V smeri proti Brebovnici, se koncentracije Rn-222 zmanjšujejo nekoliko počasneje kot v smeri proti Gorenji vasi. Po dolini Todraščice so koncentracije radona prav tako povišane; v Bačenskem mlinu, ki leži pod odlagališčem Boršt, so podobne kot v Gorenji Dobravi v dolini Brebovščice (Tabeli VII.1.4 in VII.1.5). Za primerjavo z rezultati preteklih let podajamo pregledno tabelo (Tabela III-4) in graf (Slika 4) s povprečnimi letnimi koncentracijami dobljenimi iz dvodnevni meritev.

Tabela III-4: Povprečne letne koncentracije Rn-222 (Bq/m³) merjeno z ogljenimi adsorberji v okolici RŽV v obdobju 1995 - 2007

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



Slika 4: Povprečne letne koncentracije radona v okolici RŽV, merjeno z ogljenimi adsorberji

Koncentracije Rn-222 v letu 2006 in 2007 izmerjene z metodo ogljenih adsorberjev so nižje kot zadnjih nekaj let in to kljub temu, da je prispevek rudniškega radona večji. Razlog zmanjšanja v resnici ni v nižjih koncentracijah radona pač pa po vsej verjetnosti zaradi tega ker smo v letih 2006 in 2007 upoštevali le dve meritvi in so vremenski vplivi pri dveh meritvah bistveno večji kot pri dvanajstih meritvah.

V Todražu in Gorenji Dobravi, ki sta najbližja rudniku je povprečje zadnjih let $29,6 \text{ Bq/m}^3$ in $26,8 \text{ Bq/m}^3$. 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 med $5 - 10 \text{ Bq/m}^3$, v letu 2007 okoli 9 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 v letih 2006 in 2007 so manjše, iz trenutnega števila meritev pa je zaradi velikega vpliva vremenskih razmer pri omejenem številu meritev, trditev težko potrjevati.

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, [11]), da je ravnotežna koncentracija radona največja v okolici Gorenje Dobrave.

III.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

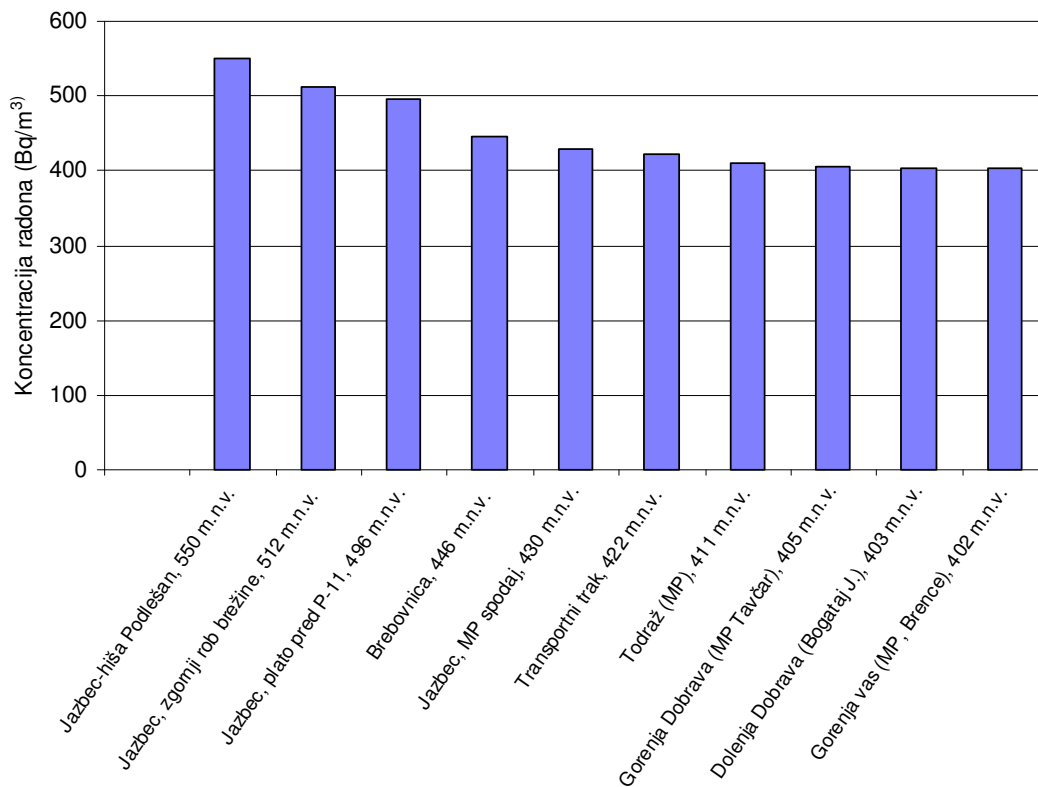
V letu 2007 smo merili koncentracije radona v bližini emisijskih virov z metodo ogljenih adsorberjev, to je v okolici odlagališč Boršt in Jazbec. Na odlagališču Boršt so koncentracije radona največje na spodnjem robu odlagališča ($26 - 28 \text{ Bq/m}^3$), nižje so na sredini slemena. Izven odlagališča koncentracije padajo in se pri kmetiji Potokar in v Bačenskem mlinu približujejo tistim v Gorenji Dobravi. V letu 2007 so sicer povprečne dvodnevne koncentracije radona na lokaciji kmetije Potokar višje kot v Gorenji vasi. 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 2007 precej podobne (Tabeli VII.1.6 in VII.1.7), kar smo izmerili tudi v letu 2006. To velja za meritve tako z detektorji sledi kot z metodo ogljenih adsorberjev.

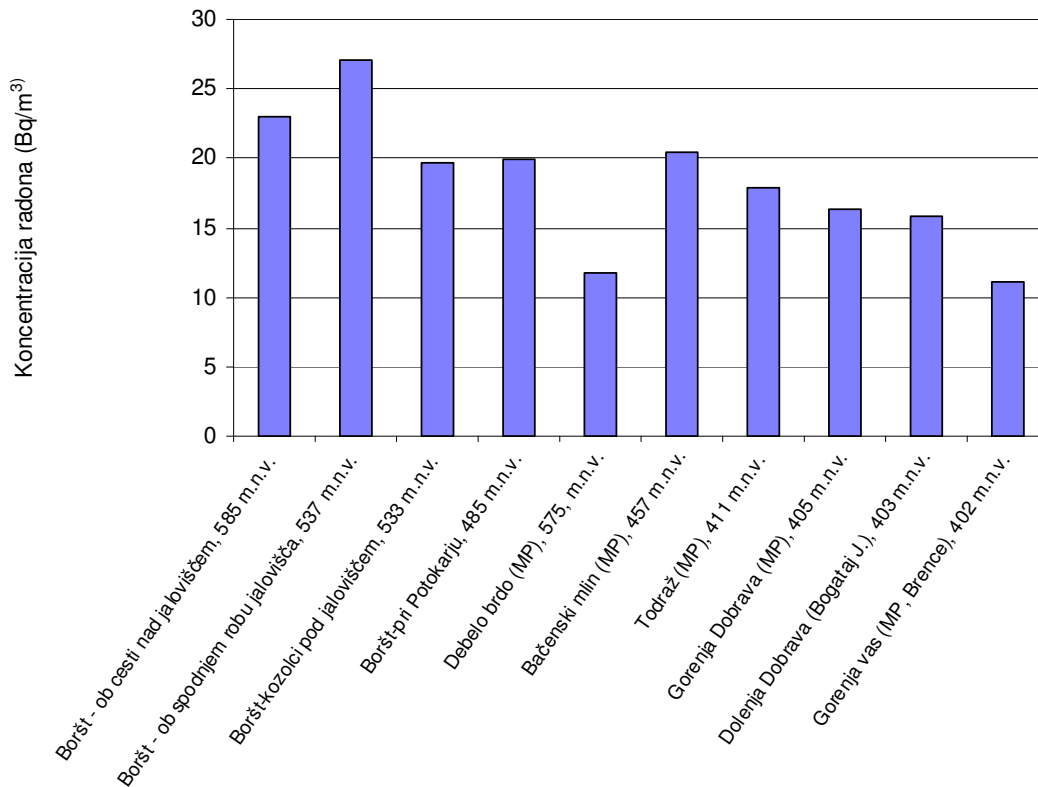
Na odlagališču Jazbec so bile izmerjene koncentracije radona v preteklih letih običajno višje kot na Borštu, razen v letu 2001. Razlog za manjše koncentracije radona na Jazbecu je v velikih količinah materiala, ki so ga na odlagališče Jazbec navozili iz drugih odlagališč in iz razgradnje rudniških objektov ter v prekrivanju in zatratitvi površin odlagališča. V preteklih letih je potekalo odlaganje, sejanje, ravnanje in komprimiranje jamske jalovine ter kontaminiranih nasutij in zemljin iz dekontaminacije zunanjih jamskih objektov in dovoz materiala iz začasnih odlagališča P-9 in platoja P-10. V letu 2007 so bili odstranjeni objekti na platoju P-11, zavarovanje površin proti eroziji in preoblikovanje JZ brežine. V letu 2007 so bila zaradi sanacije propusta pod odlagališčem tri mesece odprta vrata v propust. Ocenejene emisije radona iz tega vira so 3 GBq . Izmerjene vrednosti na odlagališču Jazbec so nekaj višje kot v letu 2006, vendar je zaradi merske negotovosti povečanje težko prepisati sanacijskim delom na propustu.

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 5, Slika 6) so višinski profili koncentracije radona po dolinah Brebovšnice in Todraščice. Na odlagališčih so koncentracije višje, nato pa z oddljenostjo 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 5: Višinski profil koncentracije radona po dolini Brebovščice za leto 2007



Slika 6: Višinski profil koncentracije radona po dolini Todraščice za leto 2007

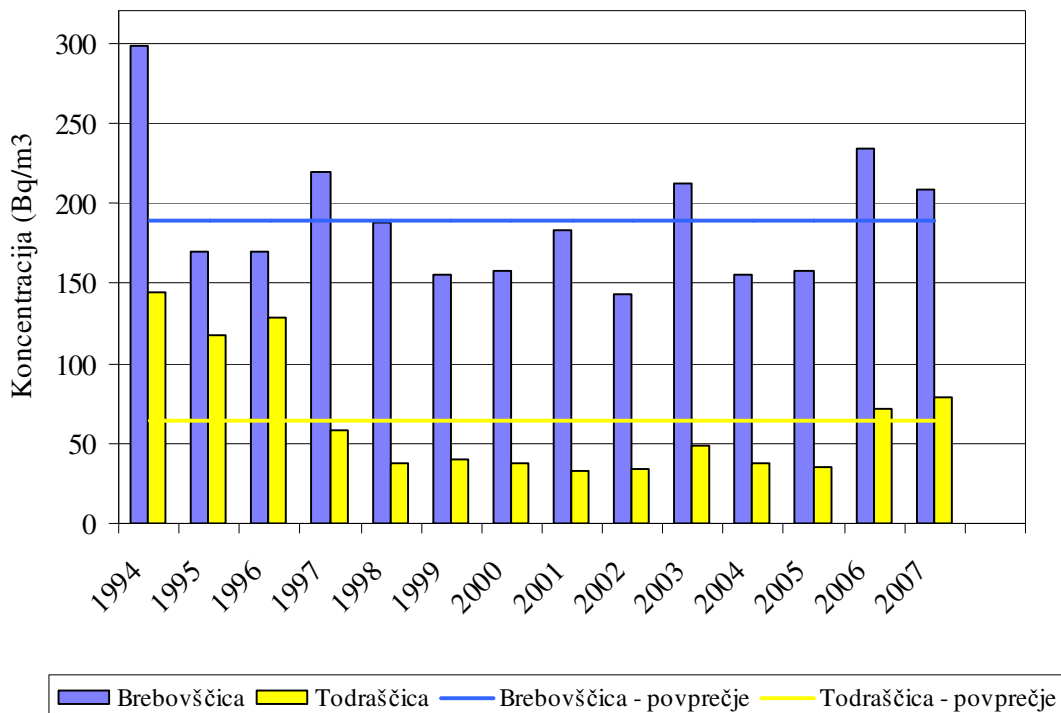
III.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

III.2.1 Vodotoki

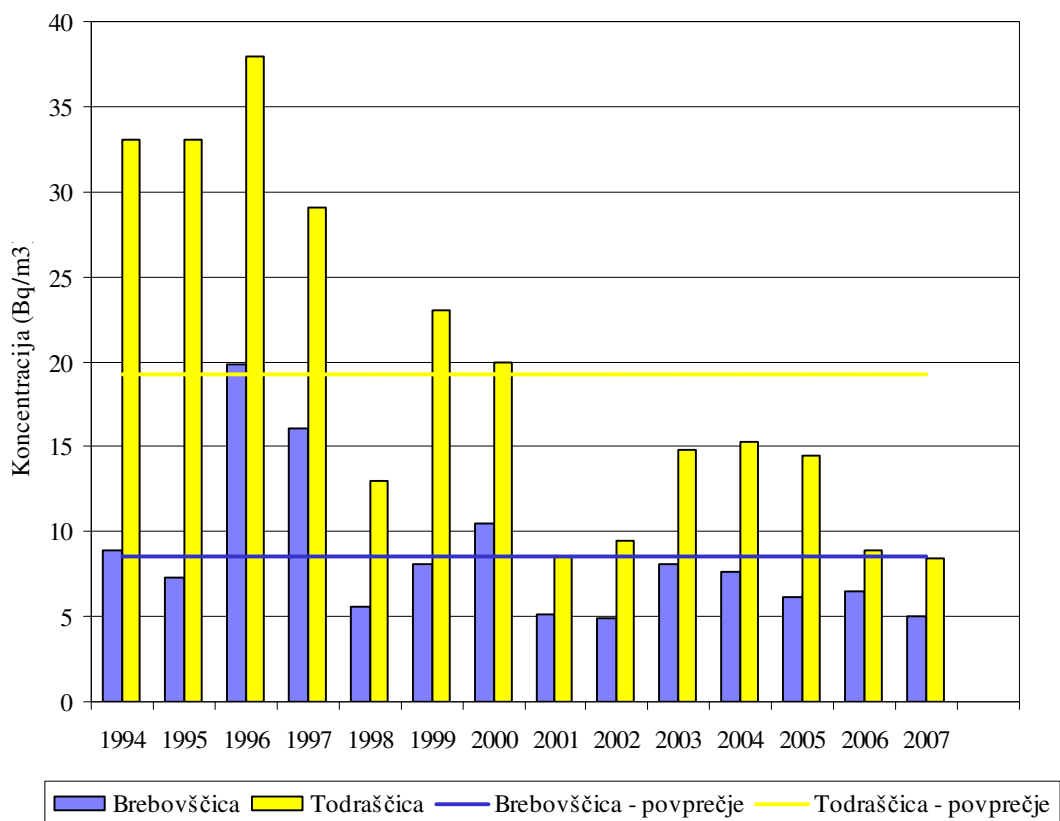
Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele VII.2.1-VII.2.5). Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztek in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava povprečnih koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 7, Slika 8, Slika 9). 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-5).

Tabela III-5: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v Todraščici in Brebovščici med obratovanjem rudnika v letih 1985 – 1990

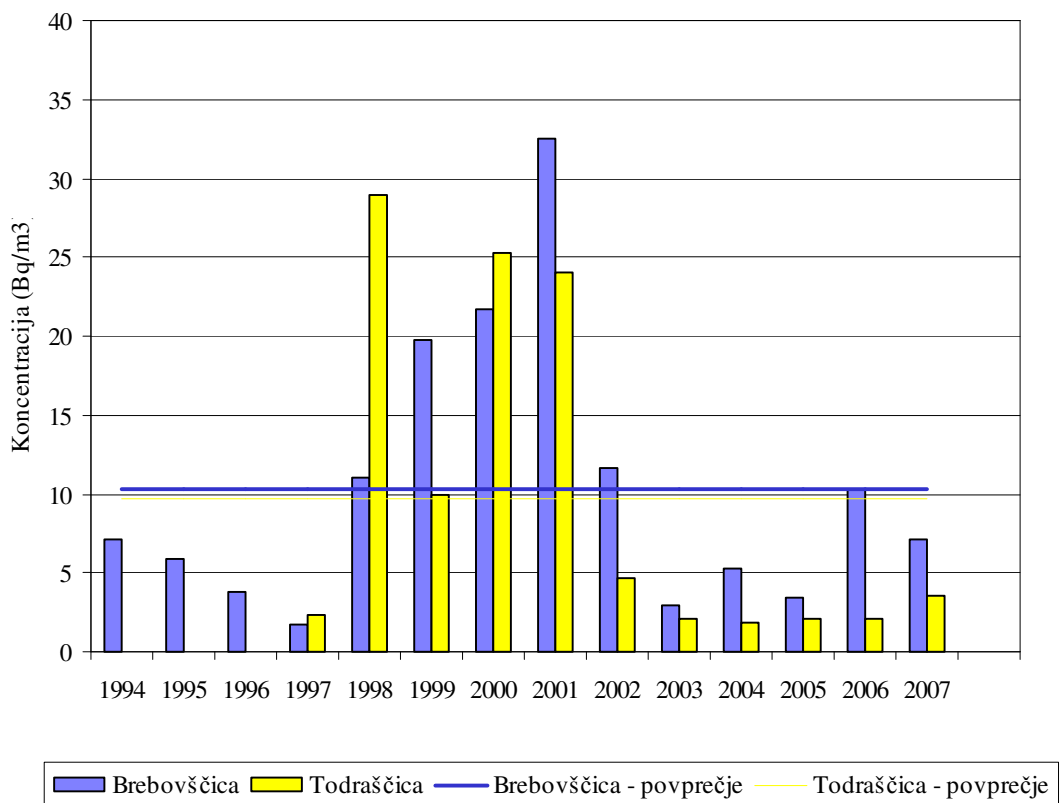
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



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



Slika 8: Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici



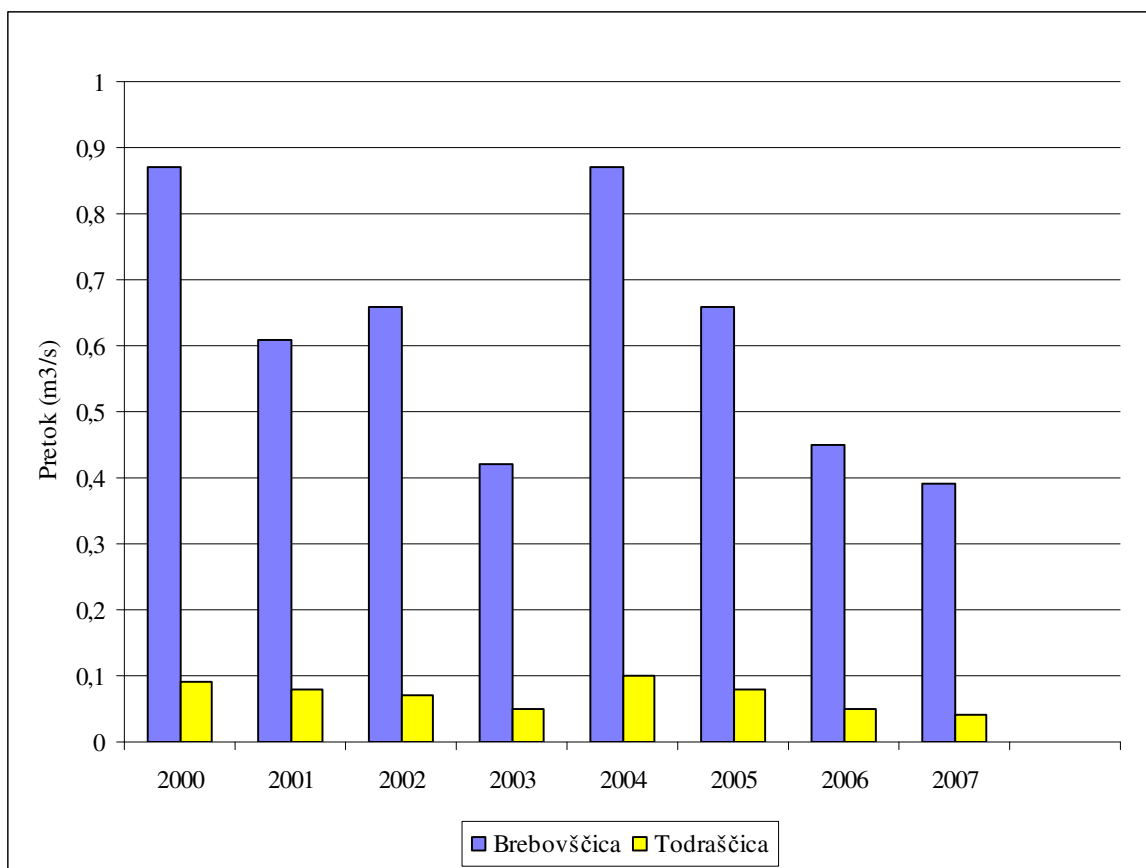
Slika 9: Povprečne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosejajo 7% mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo za U-238, 3,5 % za Pb-210 in 2% za Ra-226 [4]. Dodatno kontaminacijo reke Sore zaradi prispevkov RŽV lahko ocenimo iz razmerja pretokov Sore in Brebovščice, ki je približno 9:1.

Po prenehanju obratovanja rudnika so površinski onesnaževalci voda: jamska voda, izcedne vode iz odlagališča jamske izkopenine na Jazbecu ter izcedne in meteorne vode iz odlagališča hidrometalurške jalovine na Borštu. Glavni onesnaževalec površinske vode z Ra-226 je jamska voda, prispevek obeh odlagališč Jazbec in Boršt je približno trikrat manjši.

Glavna onesnaževalca z uranom sta jamska voda in potok Jazbec, medtem ko je odlagališče HMJ Boršt manj pomembno. Koncentracije urana in radija v Brebovščici in Todraščici so po koncu obratovanja padle, v letih 2006 in 2007 pa je vidno povečanje koncentracije U-238, kar je verjetno tudi posledica intenzivnih del na odlagališčih Jazbec in Boršt. Obenem je bilo leto 2007 zelo sušno, podobno kot leta 2006, 2005 in 2003 (Slika 10). Majhna količina padavin vpliva na višje koncentracije radionuklidov v vodi, čeprav so lahko emisije nespremenjene. Meritve, ki jih je izvajal RŽV kažejo, da so letne mase emisije U_3O_8 iz odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt približno enake kot v obdobju 2004 – 2006, iz odlagališča Jazbec pa najmanjše od leta 1992. Ocenjene emisije Ra-226 iz obeh odlagališč so podobne (Boršt) ali nižje (Jazbec) kot v preteklih letih.

Večjo koncentracijo U-238 v Brebovščici si razlagamo podobno kot v letu 2003 in 2006; leto 2007 je bilo zelo sušno, zato so bili pretoki v tem letu skoraj polovico nižji kot naprimer leta 2004 ali 2005 (Slika 10). Koncentracije Pb-210 so na podobno nizki ravni kot po letu 2001 in so 3 do 5 krat nižje kot pred letom 2001.

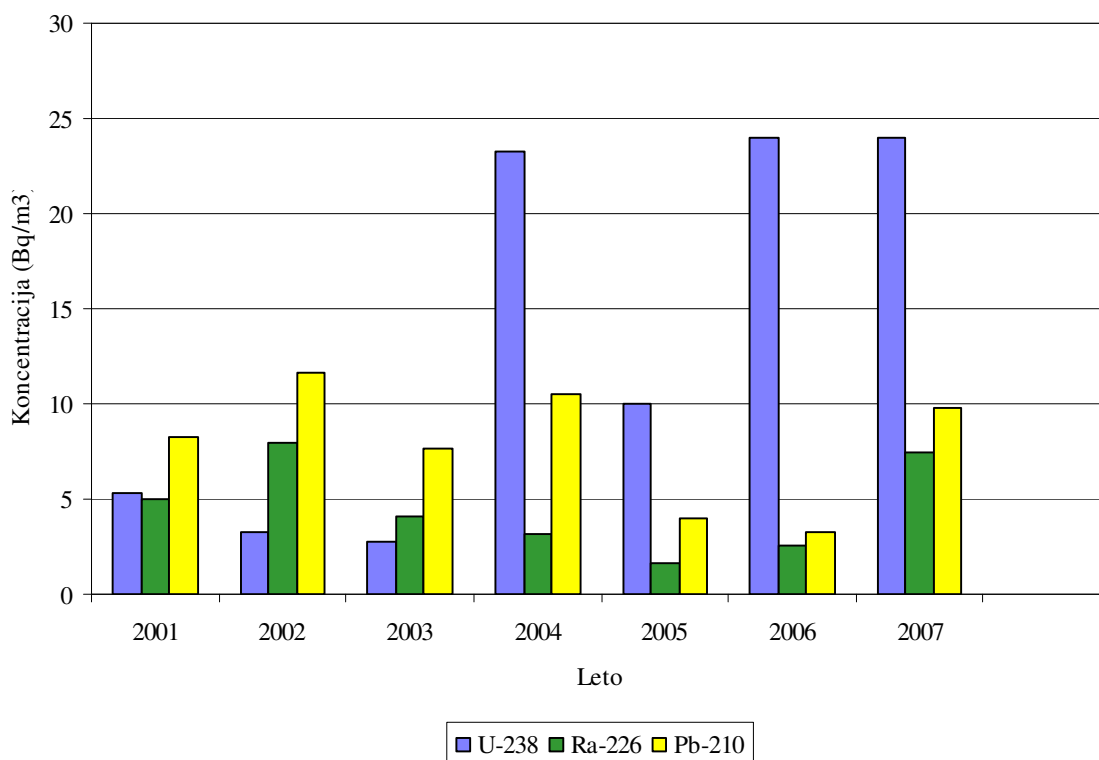


Slika 10: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

III.2.2 Podtalnica

V programu nadzora so bile v letu 2007 tudi meritve radioaktivnosti podtalnice v okoliških vrtinah in vodnjakih. Meri se 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 povezavo z vodami iz Jazbeca. Rezultati so podani v tabeli (Tabela VII.2.6).

Poleg vode iz obeh vrtin se analizira 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 2007 so koncentracije Ra-226 v vrtinah podobne kot v vodnjaku pri kmetiji Drmota, tudi Pb-210 je v izvira Mrzlek približno toliko kot v vodnjaku kmetije Drmota. V obdobju 2004 - 2007 so koncentracije U-238 višje kot pred tem obdobjem (Slika 11). Očitno intenzivna dela vplivajo na nekaj večjo koncentracijo urana.



Slika 11: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodnjaku pri Dermoti

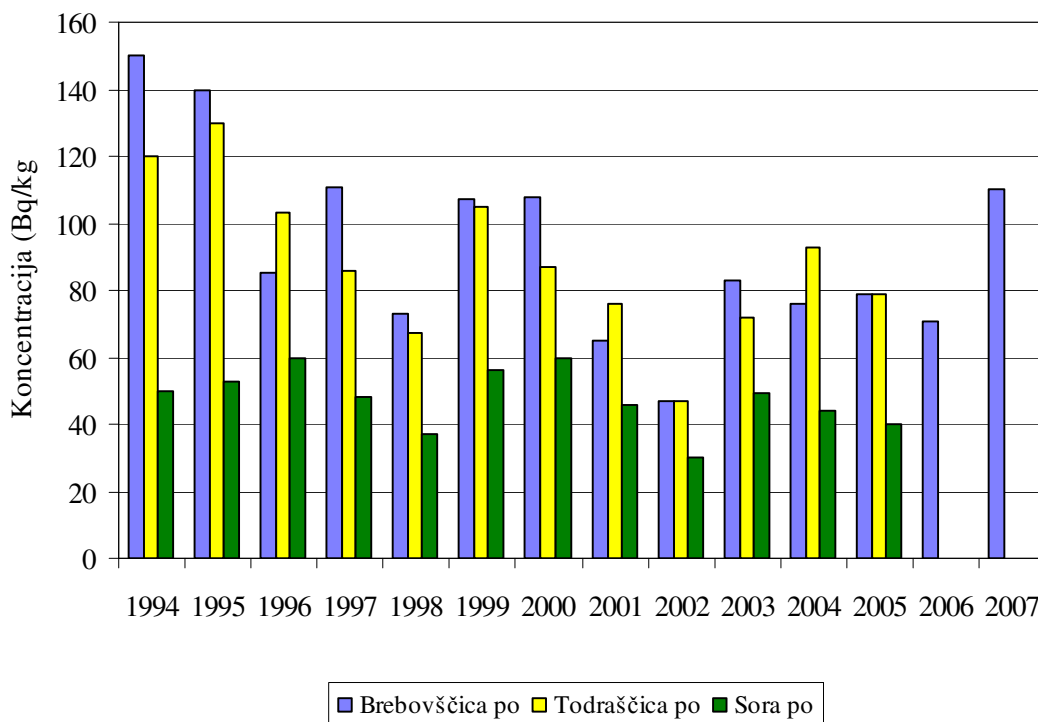
III.3 SEDIMENTI

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.

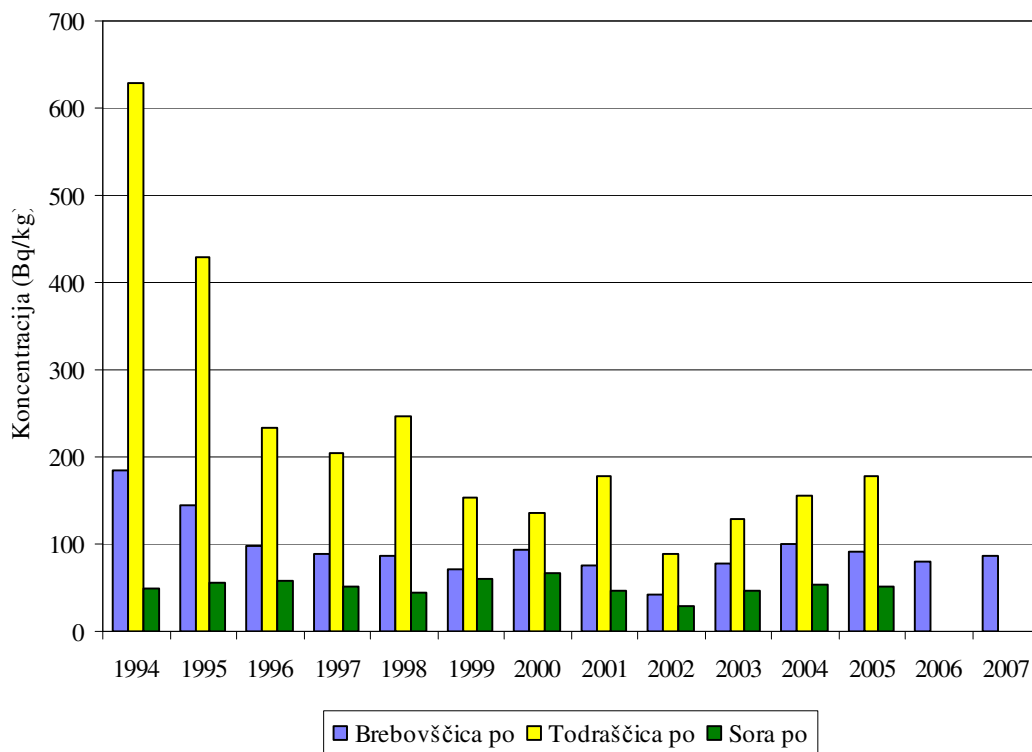
V tabeli (Tabela III-6) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 12, Slika 13, Slika 14) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

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

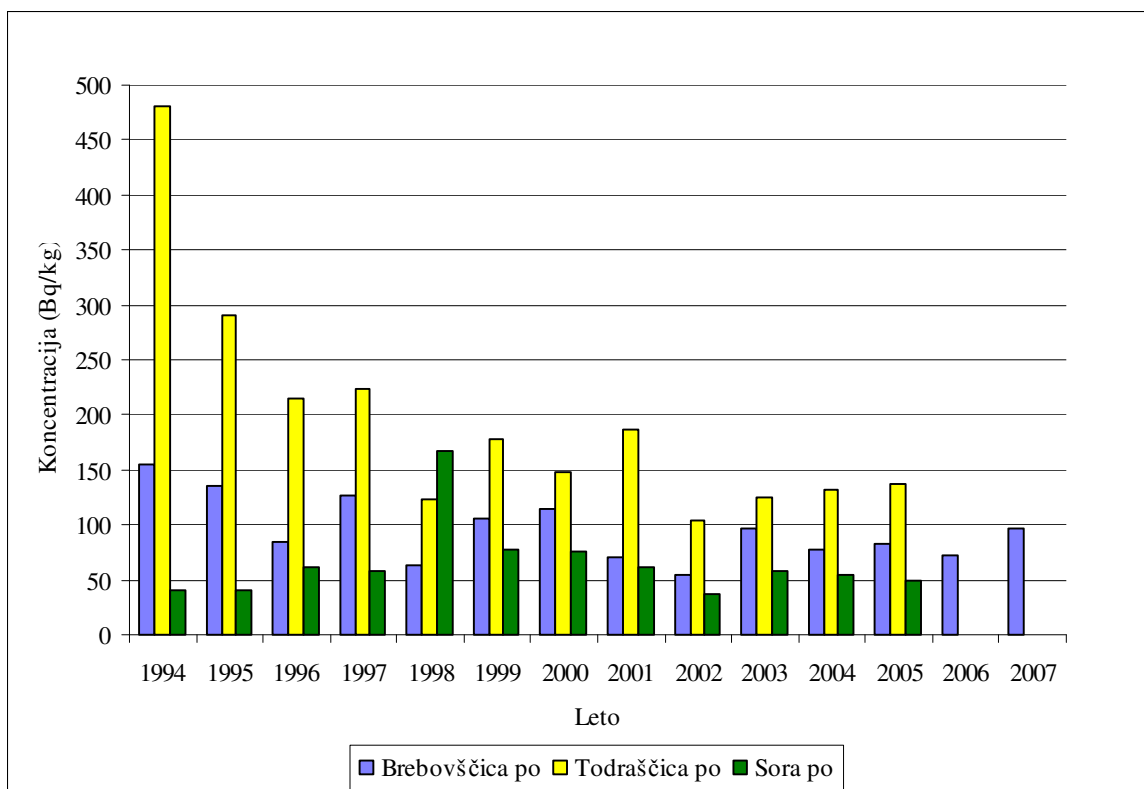
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



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



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



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

Vsebnosti radionuklidov Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letu 2007 podobne vrednostim v preteklih letih. Koncentracije U-238 pa so v letu 2007 višje, 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 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.

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. Meritve hitrosti doz so pokazale podobne vrednosti kot v preteklih letih.

V splošnem velja [12], 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 [13] so bile med 0,10-0,12 $\mu\text{Gy/h}$ (hitrost absorbirane doze v zraku). Naravni gama sevalci 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.

Kot ozadje hitrosti zunanje doze zunaj ograje odlagališča smo vzeli hitrost okoliške ekvivalentne 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 0,5-1,5 $\mu\text{Sv/h}$. 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 kmetije Jaka 200 metrov zahodno od odlagališča in kmetije Vrban 300 metrov južno od odlagališča.

III.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč 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.

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. Ko se oddaljemo od odlagališča, te vrednosti hitro padejo na velikost naravnega ozadja. Merljivo področje povišane hitrosti doze seže le okoli 10-20 metrov od odlagališča, odvisno od radioaktivnosti odloženega materiala in konfiguracije terena. Vpliv odlagališča še najdlje, do razdalje 50 metrov, sega na južni strani. Vpliv odlagališča ne sega do kmetije Podlešan 150 metrov zahodno od odlagališča. V letu 2007 nismo več izmerili vročih točk oziroma mest s povišanimi hitrostmi doze na dovozu k transformatorski postaji TP-11 in nad nad vhodom v rudnik P-11. V času izvajanja meritev (november 2007) zgornja etaža odlagališča še ni bila prekita s prekrivko.

IV. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA

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

Pri izračunu smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje za ingestijo in inhalacijo po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4] in *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5]. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996, [16]), ki smo jih uporabljali v izračunih v preteklih letih.

Pri oceni efektivne ekvivalentne doze pri inhalaciji radonovih kratkoživih potomcev smo uporabili dozno konverzijo po *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5]. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji* [5] ima osnovo v ICRP 65 [15]

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

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

Za prispevke k skupni dozi prebivalstva iz rudniških virov, za katere se meritve v letu 2007 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

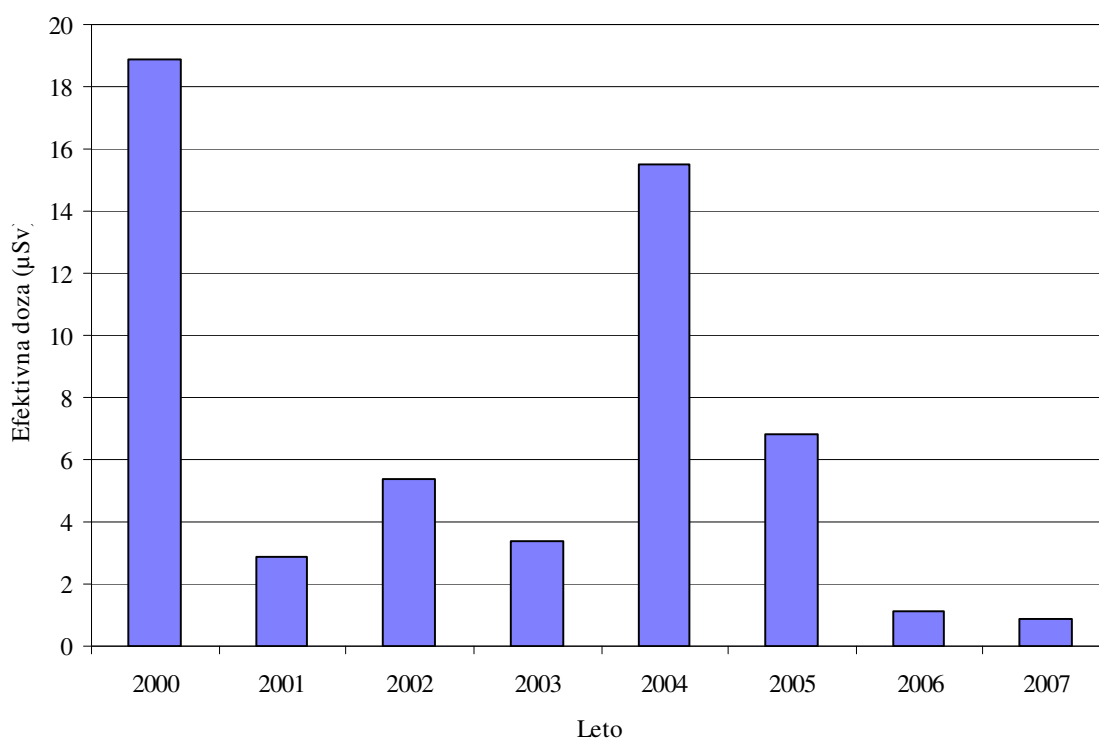
Letno efektivno dozo na posameznika v okolici RŽV zaradi dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste v zraku, smo ocenili z uporabo doznih pretvorbene faktorjev po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4]. Upoštevali smo, da so U-238, Ra-226 in Pb-210 v ravnotežju s svojimi potomci. 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 [17]. Za hitrost dihanja smo privzeli vrednosti ICRP 71 [18].

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

**$E = 0,86 \pm 0,39 \mu\text{Sv}$ za odraslega prebivalca,
 $E = 0,32 \pm 0,15 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 10 let,
 $E = 0,19 \pm 0,09 \mu\text{Sv}$ za otroka starega 1 leto,**

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 15). Koncentracije radionuklidov v zraku so namreč nizke, negotovost meritve temu ustrezno velika, kar se odraža na izračunu doze.



Slika 15: 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 [15]. Čase zadrževanja v stavbah ali na prostem smo upoštevali po M. Križmanu [17]. 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 2007 je:

$$E = 4,6 \pm 1,3 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E = 3,2 \pm 0,9 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,}$$

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

in je nižja od doze v preteklih letih, kar je predvsem posledica manjših hitrosti dihanja, ki smo jih privzeli v izračunih.

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 [19]. Koncentracija radona se sicer nenehno spreminja in najvišje vrednosti doseže v nočnem času. V stabilnih vremenskih razmerah je bila najvišja koncentracija na posameznih lokacijah tudi do 10 krat večja od najnižje, v vetrovnem in nestabilnem vremenu pa je bila ta razlika bistveno manjša. Primerjava izračunov z upoštevanjem dnevnega spreminjanja koncentracij ali izračunov s predpostavljeno enakomerno koncentracijo radona, pokaže le majhne razlike v oceni doze velikosti nekaj odstotkov.

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

Za povprečni ravnovesni faktor rudniškega radona na prostem na območju Gorenje Dobrave smo privzeli vrednost 0,4 [4], za radon v hišah pa prav tako ravnovesni faktor 0,4. Ker nekateri viri navajajo, da je ravnovesni faktor na prostem višji kot 0,4 [25], predlagamo, da se pravi 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 [19]. 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 [20] 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 3). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med $6,2\text{-}9,3 \text{ Bq/m}^3$.

V letu 2007 je koncentracija radona povečana za $8,8 \pm 2,4 \text{ Bq/m}^3$. Efektivna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2007:

$$E = 186 \pm 51 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

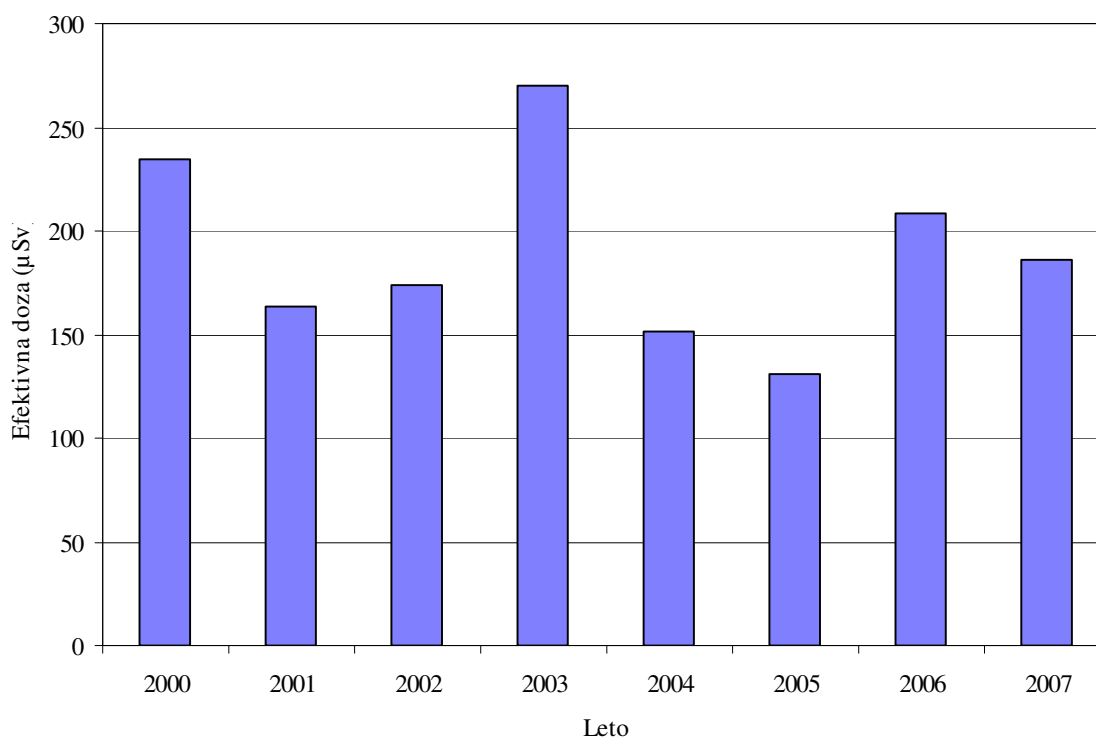
$$E = 178 \pm 48 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,}$$

$$E = 203 \pm 55 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto,}$$

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2007 prejeli dozo $0,22 \text{ mSv}$. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje so manj obremenjeni in so dobili prejeli dozo $0,15 \text{ mSv}$.

Ocenjene efektivne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za leto 2007 so nižje kot v 2006 predvsem zaradi drugačnega izračuna doze, saj smo upoštevali ravnovesni faktor na prostem 0,4 in ne 0,45 kot v preteklosti. Obenem smo namesto metodologije iz ICRP 50 [15][14] upoštevali metodologijo iz Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji [5]. V primeru uporabe metodologije iz leta 2006, bi bila ocenjena letna efektivna doza za odraslega prebivalca iz referenčne skupine 230 μSv (186 μSv v letu 2007).

Največji delež k celotni dozi zaradi rudnika Žirovski vrh prispeva inhalacija radonovih kratkoživih potomcev. Letna efektivna doza od prenehanja proizvodnje se giblje med 0,15 in 0,3 mSv (Slika 16). 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 2001-2005). Seveda ves radon ne izvira iz rudnika. Rudniškega radona je približno četrtnina, kar smo ocenili iz razlike koncentracij radona na območju, kjer je možno z meritvami zaznati vpliv rudnika in območju kjer vpliva ni.



Slika 16: Efektivne letne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev za odraslega prebivalca v okolici RŽV

IV.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI

IV.2.1 Ocena doze zaradi ingestije - hrana

Ker v letu 2007 v programu niso bile zajete meritve hrane, za oceno doze v letu 2007 privzemamo podatke iz leta 2005. Pri količini zaužite hrane smo upoštevali študijo J. Rojca [21], M. Križmana [19] in ICRP 101 [22].

Efektivne doze (E) smo izračunali z uporabo konverzijskih faktorjev iz *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [4]. Pri oceni smo upoštevali vsebnosti Ra-226 in Pb-210 v nekaterih tipičnih živilih, ki jih pridelujejo ljudje na območju vpliva rudnika. Ocena za predvideno efektivno dozo zaradi ingestije je skupaj s količino zaužitih živil podana v tabeli (Tabela IV-1).

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. Celo 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 navijšjimi 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:

$$\begin{aligned} E &< 30 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,} \\ E &< 60 \mu\text{Sv za otroka starega 10 let,} \\ E &< 70 \mu\text{Sv za otroka starega 1 leto.} \end{aligned}$$

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. Predlagamo, da bi v prihodnosti izmerili vsaj v mleku iz okolice RŽV vsebnosti radionuklidov z bolj občutljivimi merskimi metodami kot je npr. visokoločljivostna spektrometrija gama, ki se je uporabljala za določevanje radionuklidov v hrani v preteklosti (do leta 2005).

Tabela IV-1: 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)

Vrsta hrane	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Količina (kg/leto) za odraslega prebivalca
mleko	0,03	0,2	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 podobno kot za hrano program v letu 2007 ni zajemal 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

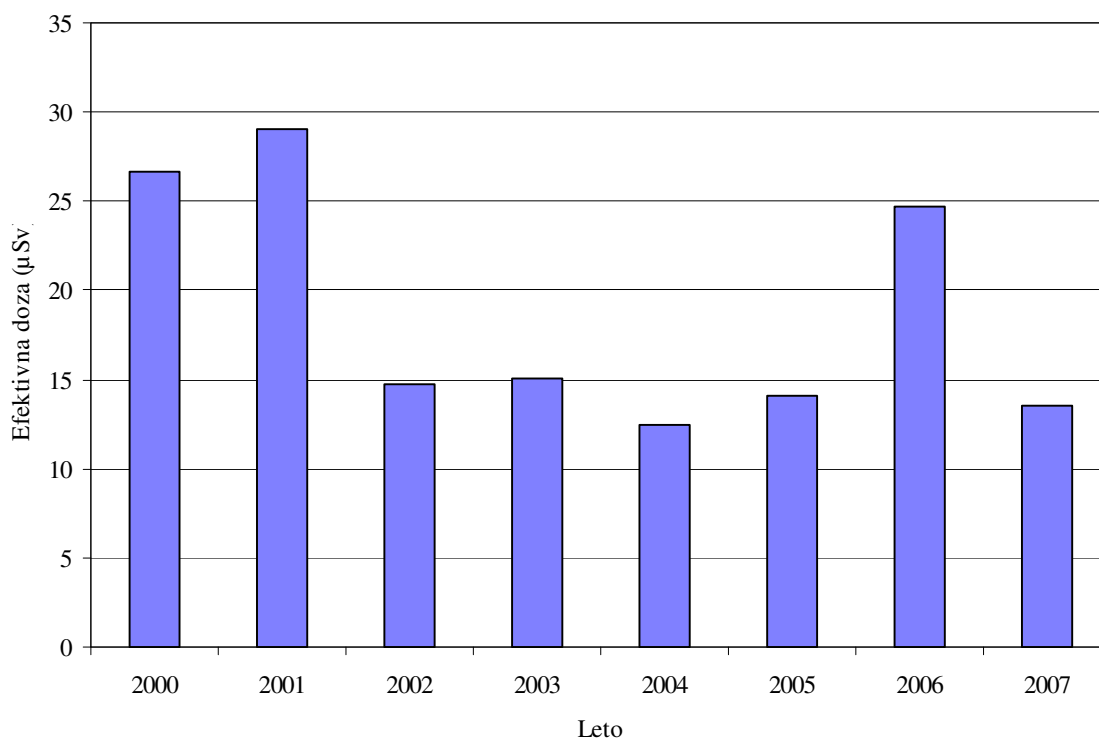
Izračunali smo dozo tudi zaradi pitja vode kljub temu, da ljudje površinskih voda in vode iz vodnjakov s področja RŽV ne uporabljajo za pitje, zalivanje ali napajanje živine. Ocena doze je izdelana, če bi ljudje uporabljali vodo iz Brebovščice in znaša:

$$E_{(\text{ingestija, voda, odrasli})} = 13,6 \pm 0,9 \mu\text{Sv za odraslega prebivalca,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 10 let})} = 16,9 \pm 1,1 \mu\text{Sv za otroke stare 1 leto,}$$

$$E_{(\text{ingestija, voda, otroci 1 leto})} = 17,9 \pm 1,1 \mu\text{Sv za otroke stare 10 let,}$$

Izračunana letna efektivna doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 17). Za količine zaužite vode smo upoštevali [23].



Slika 17: 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 [23]. Za radon v hišah je pretvorbeni faktor $0,01 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$, na prostem pa $0,25 \text{ nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$. Upoštevali smo faktor slabitve sevanja zaradi stavbe, čas zadrževanja zunaj in znotraj stavb in faktor ravnotežja na prostem in v hišah. Prišteli smo tudi dozo zunanjega sevanja zaradi depozicije radonovih potomcev.

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

$$E = 2,6 \text{ µSv.}$$

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 se že po nekaj 10 metrih hitrost doze spusti na raven naravnega ozadja. 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:

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

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-2). Za prispevke prenosnih poti, ki niso bile upoštewane v programu meritev za leto 2007 smo uporabili podatke za leto 2005.

Tabela IV-2: 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	0,9	0,3	0,2
	- samo Rn-222	4,6	3,2	1,3
	- Rn, kratkoživi potomci	186	178	203
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi	(13,6)	(16,9)	(17,9)
	- ribe (Ra-226, Pb-210)	2,9	2,9	-
	- kmetijski pridelki, hrana (Ra-226, Pb-210)	< 30	< 60	< 70
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija)	2,6	2,6	2,6
	- γ sevanje dolgoživih radionuklidov	-	-	-
	- γ sevanje v okolici odlagališč	1,0	-	-

Skupna letna efektivna doza zaradi izpostavljenosti sevanju iz rudnika urana v 2007 je:

0,23 mSv za odraslega prebivalca

0,25 mSv za otroka starega 10 let

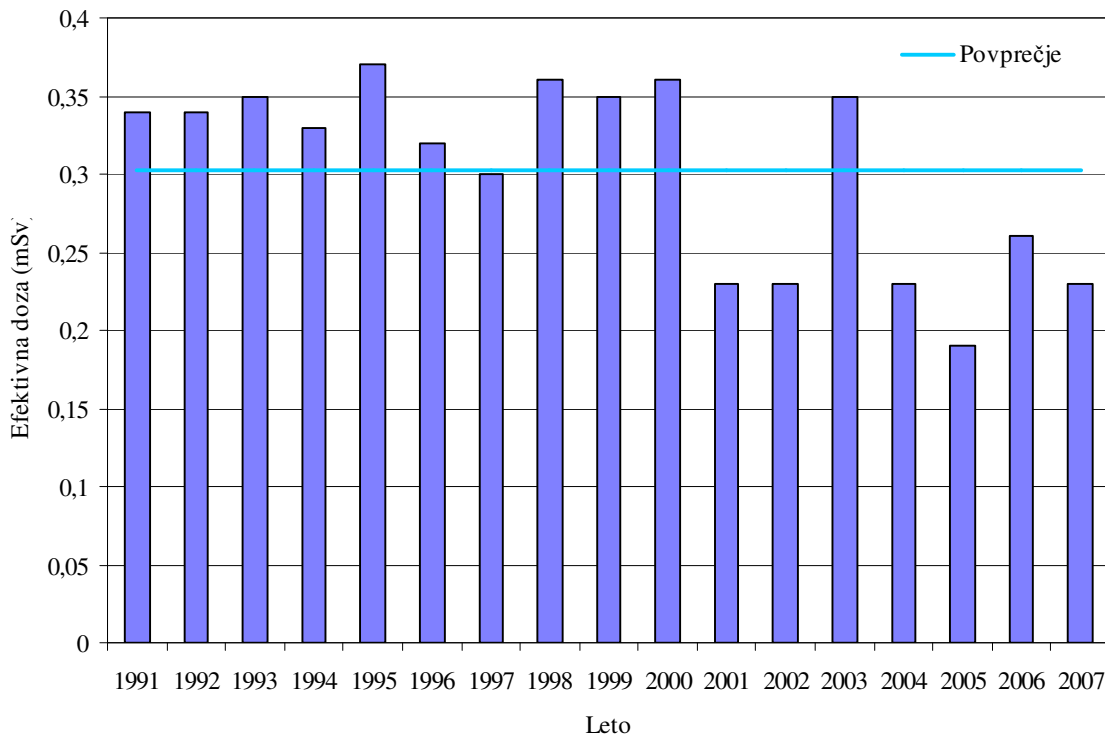
0,28 mSv za otroka starega 1 leto

(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 približno četrtno te vrednosti.

Letne efektivne doze se gibljejo med 0,2 in 0,3 mSv (Slika 18). Po letu 2000 je viden pomik k nižjim vrednostim zaradi izvedenih del v obdobju 2000-2002, s katerimi so se zmanjšale emisije radona, ki največ prispeva k dozni obremenitvi prebivalstva. V letu 2007 smo pri izračunu doz uporabili hitrosti dihanja iz reference [18]. V preteklosti smo v izračunih dozne obremenjenosti uporabljali hitrosti dihanja za težko delo preko vsega

dneva, kar je preveč konservativna predpostavka. V primeru, da bi računali po enaki metodologiji kot leta 2006 (privzete hitrosti dihanja odraslega prebivalca 1,2 m³/h in metodologijo izračuna za inhalacijo radonovih potomcev po ICRP 50), bi bila ocenjena letna efektivna doza odraslega prebivalca 0,27 mSv.



Slika 18: Skupne letne efektivne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV

IV.5 IZPOSTAVLJENOST SEVANJU NARAVNIH VIROV

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

Ocena je pokazala [24], 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 2007 je 0,23 mSv, tako da je celotna letna doza za prebivalca v okolici RŽV 5,73 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 4 %.

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 2007 okoli 0,4 %. Zaradi nizkih vrednosti je meritev 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 izkopske Jazbec. Na odlagališču Jazbec so v letu 2007 potekale aktivnosti končne ureditve odlagališča (preurejanje površine, vgradnja končne prekrivke, sanacija propusta pod odlagališčem). Na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt je v letu 2007 potekala predvsem izgradnja drenaž zaradi katere pa ni bilo povečanih emisij radona iz odlagališča.

Zaradi rudnika je koncentracija radona povečana za približno četrtno nad naravnim ozadjem. 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. V letu 2007 smo povečanje ocenili na 8,8 Bq/m³. To je v okviru koncentracij, ki smo jih izmerili po letu 2000. 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 [25].

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 jamska voda in izcedne vode odlagališča Jazbec, medtem ko je glavni onesnaževalec z Ra-226 jamska voda. Koncentracije Ra-226 so sicer višje v Todraščici, vendar je pretok Todraščice 8-9 x manjši kot pretok Brebovščice. Skupna aktivnost je tako večja v Brebovščici.

V Todraščici in Brebovščici niso presežene mejne vrednosti predpisane z *Uredbo o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* (Ur. L. RS, št. 49/2004). Največji delež k obsevi 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 okolišne prebivalce. Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letu 2007 podobne vrednostim v preteklih letih. Do leta 2002 je viden trend upadanja, predvsem zaradi intenzivnega nasipanja odlagališča Jazbec in povezanega manjšega spiranja radionuklidov iz odlagališča. Trend zniževanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Todraščice se je v letu 2003 ustavil, saj so se na odlagališču v obdobju 2004-2007 izvajala intenzivna dela. S Pb-210 in Ra-226 so bili pretekla leta najbolj kontaminirani sedimenti v Todraščici, urana pa je 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 (1,3 %).
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 (13 %). Največjo dozo zaradi zauživanja hrane prejmejo otroci stari eno leto, za katere smo privzeli, da zauživajo le mleko, ki v celoti prihaja iz okolice RŽV. Prispevek 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 v orni 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. Nekoliko pomembnejši je imerzijski prispevek kratkoživih radonovih potomcev v zraku, ki znaša 2,0 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 gornjega dela 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. Merljivi vpliv odlagališča Jazbec sega le do razdalje 10-30 metrov od odlagališča.

Skupno znaša delež zunanje gama sevanja iz virov RŽV okoli 1,5 %.

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli odrasli posamezniki iz referenčne skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2007 ocenili na 0,23 mSv. Razviden je padec doze po letu 2000. V letu 2007 smo pri oceni doze uporabili novo metodologijo in ocenili doze za tri starostne skupine: odrasle, otroke stare 10 let in otroke stare 1 leto. Ocenjena letna efektivna doza za otroke stare 10 let je 0,25 mSv in za otroke stare 1 leto 0,28 mSv.

V letu 2007 so posledice rudarjenja in predelave uranove rude še vedno predstavljale dodatno izpostavljenost sevanju za okolišno prebivalstvo. Prejeta doza (0,23 mSv) predstavlja približno četrtno dovoljene letne doze za prebivalstvo, ki jo določajo predpisi Republike Slovenije in mednarodna priporočila.

10. Celotna izpostavljenost naravnim virom sevanja za prebivalce 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 ponovno ovrednotenje naravnega ozadja v vplivnem območju RŽV.

Predlagamo, da se pogostost meritev koncentracije radona s kasetami na aktivno oglje poveča iz pol leta na kvartalne meritve, kar omogoča boljšo primerjavo med lokacijami in zmanjša vpliv vremenskih razmer oziroma se izvede podrobnejšo študijo o obnašanju radona v spremnejnih klimatskih razmerah. Primerjava meritev z detektorji sledi ali ogljenimi adsorberji kaže precejšnje razlike. Pri oceni doz se uporabljajo rezultati meritev z detektorji sledi, v preteklosti pa so se uporabljali tudi rezultati iz meritev ogljenih adsorberjev ali kontinuiranih merilnikov radona in potomcev. Vsa zadnja leta opazamo, da se koncentracija radona ne zmanjšuje, kljub intenzivnim delom na obeh odlagališčih. Morda je metoda z detektorji sledi preveč odvisna od vremenskih razmer ali pa smo v bližini meje detekcije. Zato je smiselno izvesti podrobnejšo študijo koncentracije radona in pri tem uporabiti različne merilne metode.

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.

Ker so v koncentracije radona na lokaciji v Gorenji vasi zadnji dve leti nenavadno nizke, celo nižje kot v Ljubljani, predlagamo, da se koncentracijo radona meri tudi na lokaciji nad in pod trenutno lokacijo pri kmetiji Brence. S tem bi preverili vpliv zračnega toka iz doline Sore na koncentracijo radona v Gorenji vasi.

Predlagamo meritve ekshalacije radona na prekritih površinah odlagališč.

Predlagamo, da se izvajajo tudi meritve koncentracije radionuklidov v sedimentih Todraščice po iztoku iz odlagališča Boršt.

Predlagamo, da se v vzorcih mleka določi vsebnosti radionuklidov z metodami, ki so bolj občutljive od metode visokoločljivostne spektrometrije gama.

VII. REZULTATI MERITEV

VII.1. ZRAK

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2007

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	0,008 ± 0,004	0,004 ± 0,003	0,002 ± 0,002	0,006 ± 0,005
²²⁶ Ra	0,0029 ± 0,0005	0,0026 ± 0,0004	0,0021 ± 0,000	0,004 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,50 ± 0,16	0,41 ± 0,14	0,43 ± 0,14	0,59 ± 0,19

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 ± 0,003	0,009 ± 0,006	0,006 ± 0,003	0,011 ± 0,004
²²⁶ Ra	0,0042 ± 0,0009	0,0060 ± 0,0008	0,002 ± 0,0005	0,0044 ± 0,0006
²¹⁰ Pb	0,52 ± 0,16	0,56 ± 0,18	0,46 ± 0,15	0,69 ± 0,22

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	0,008 ± 0,007	0,004 ± 0,003	0,008 ± 0,007	0,008 ± 0,004
²²⁶ Ra	0,002 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,55 ± 0,17	0,48 ± 0,15	0,54 ± 0,17	0,49 ± 0,16

VII.1. ZRAK

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI AEROSOLOV V OKOLJU RŽV V LETU 2007

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	0,015 ± 0,005	0,009 ± 0,003	0,007 ± 0,005	0,008 ± 0,005
²²⁶ Ra	0,002 ± 0,000	0,003 ± 0,001	0,0042 ± 0,0009	0,010 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,52 ± 0,17	0,61 ± 0,20	0,68 ± 0,22	0,84 ± 0,27

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	0,010 ± 0,009	0,002 ± 0,002	0,016 ± 0,005	0,030 ± 0,009
²²⁶ Ra	0,0030 ± 0,0010	0,0029 ± 0,0008	0,0077 ± 0,0010	0,006 ± 0,001
²¹⁰ Pb	0,54 ± 0,17	0,52 ± 0,17	0,59 ± 0,19	0,71 ± 0,22

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

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	36 ± 5	28 ± 5	35 ± 6	36 ± 5	34 ± 5
Transportni trak	25 ± 5	27 ± 5	35 ± 6	39 ± 6	32 ± 6
Todraž (MP)	34 ± 5	19 ± 4	32 ± 5	33 ± 5	30 ± 5
Gorenja Dobrava (MP T.)	23 ± 5	27 ± 5	29 ± 5	24 ± 5	
Gorenja Dobrava (MP T.)	27 ± 5	30 ± 5	39 ± 6	30 ± 5	
Gorenja Dobrava (MP T.)	37 ± 6	37 ± 6	38 ± 6	26 ± 5	
Gorenja Dobrava (MP T.) povprečje	29 ± 5	31 ± 5	35 ± 6	27 ± 5	31 ± 5
Dolenja Dobrava (B. J.)	20 ± 5	21 ± 4	31 ± 5	17 ± 4	22 ± 5
Dolenja Dobrava (B. J.)	20 ± 5	21 ± 4	31 ± 5	17 ± 4	22 ± 5
Gorenja vas (MP, Brence)	22 ± 5	18 ± 4	22 ± 5	42 ± 6	
Gorenja vas (MP, Brence)	18 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	35 ± 6	
Gorenja vas (MP, Brence)	20 ± 5	13 ± 4	11 ± 4	24 ± 5	
Gorenja vas (MP, Brence) povprečje	20 ± 5	16 ± 4	17 ± 4	34 ± 6	22 ± 5
ZVD- Ljubljana*	<i>detektor izgubljen</i>	25 ± 5	29 ± 5	23 ± 5	26 ± 5
DOLINA TODRAŠČICE					
Bačenski mlin	24 ± 5	47 ± 6	33 ± 5	31 ± 5	34 ± 5
JALOVIŠČI JAZBEC IN BORŠT					
Jazbec - zračna črpalka	54 ± 7	38 ± 6	22 ± 5	44 ± 6	40 ± 6
Boršt - zračna črpalka	22 ± 5	34 ± 5	64 ± 8	25 ± 5	36 ± 6

* primerjalna lokacija

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: 2007

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

Datum merjenja		04.06. - 06.06.	11.12.-14.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Jazbec-hiša Podlešan	550	7,7 ± 1,2	21,4 ± 3,4
Jazbec, zgornji rob brežine	512	11,2 ± 1,8	36,3 ± 5,8
Jazbec, plato pred P-11	496	14,3 ± 2,4	35,9 ± 5,6
Brebovnica	446	15,7 ± 2,4	26,0 ± 4,0
Jazbec, MP spodaj	430	17,5 ± 2,8	24,5 ± 3,9
Transportni trak	422	15,9 ± 2,5	26,4 ± 4,3
Todraž (MP)	411	12,3 ± 2,0	23,3 ± 3,7
Gorenja Dobrava (MP Tavčar)	405	12,2 ± 2,0	20,5 ± 3,3
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	10,8 ± 1,7	20,9 ± 3,4
Gorenja vas (MP, Brence)	402	8,3 ± 1,4	13,9 ± 2,2
ZVD - Ljubljana	300	5,8 ± 0,9	18,6 ± 3,0

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: 2007

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

Datum merjenja		04.06. - 06.06.	11.12.-14.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	9,5 ± 1,9	36,3 ± 5,6
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	26,5 ± 4,2	27,6 ± 4,4
Boršt-kozolci pod jaloviščem	533	19,0 ± 3,1	20,4 ± 3,4
Boršt-pri Potokarju	485	13,7 ± 2,1	26,0 ± 4,2
Debelo brdo (MP)	575	5,4 ± 0,8	18,1 ± 2,8
Bačenski mlin (MP)	457	15,5 ± 2,5	25,4 ± 4,0
Todraž (MP)	411	12,3 ± 2,0	23,3 ± 3,7
Gorenja Dobrava (MP)	405	12,2 ± 2,0	20,5 ± 3,3
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	10,8 ± 1,7	20,9 ± 3,4
Gorenja vas (MP, Brence)	402	8,3 ± 1,4	13,9 ± 2,2
ZVD - Ljubljana	300	5,8 ± 0,9	18,6 ± 3,0

VII.1 ZRAK

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

Prerez v profilu odlagališča Jazbec

Leto: 2007

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

Datum merjenja		04.06. - 06.06.	11.12.-14.12.
	Nad. viš.	koncentracija	koncentracija
Merilno mesto	m	Bq/m ³	Bq/m ³
Jazbec, zgornji rob brežine	512	11,2 ± 1,8	36,3 ± 5,8
Jazbec, plato pred P-11	496	14,3 ± 2,4	35,9 ± 5,6
Jazbec, MP spodaj	430	17,5 ± 2,8	24,5 ± 3,9
Transportni trak	422	15,9 ± 2,5	26,4 ± 4,3
Gorenja vas (MP, Brence)	402	8,3 ± 1,4	13,9 ± 2,2

VII.1 ZRAK

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

Prerez v profilu odlagališča Boršt

Leto: 2007

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

Datum merjenja		04.06. - 06.06.	11.12.-14.12.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	9,5 ± 1,9	36,3 ± 5,6
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	26,5 ± 4,2	27,6 ± 4,4
Boršt-kozolci pod jaloviščem	533	19,0 ± 3,1	20,4 ± 3,4
Boršt-pri Potokarju	485	13,7 ± 2,1	26,0 ± 4,2
Gorenja vas (MP, Brencce)	402	8,3 ± 1,4	13,9 ± 2,2

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 2007

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	223 ± 2	0,38	65 ± 4	0,04
Februar	119 ± 7	1,27	51 ± 3	0,14
Marec	122 ± 7	0,72	65 ± 4	0,08
April	198 ± 11	0,30	27 ± 2	0,03
Maj	270 ± 13	0,08	92 ± 5	0,01
Junij	282 ± 16	0,12	51 ± 3	0,01
Julij	250 ± 13	0,13	87 ± 5	0,01
Avgust	229 ± 11	0,05	108 ± 4	0,01
September	322 ± 16	0,60	134 ± 3	0,07
Oktober	160 ± 9	0,42	59 ± 4	0,05
November	168 ± 9	0,24	109 ± 6	0,03
December	153 ± 7	0,34	105 ± 6	0,04
Povprečje	208 ± 11	0,39	79 ± 4	0,04

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 2007

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	5,4 ± 0,5	0,38	4,7 ± 0,6	0,04
Februar	3,9 ± 0,5	1,27	4,4 ± 0,6	0,14
Marec	2,9 ± 0,4	0,72	4,7 ± 0,5	0,08
April	6,4 ± 0,6	0,30	4,9 ± 0,7	0,03
Maj	5,4 ± 0,6	0,08	13,2 ± 0,8	0,01
Junij	4,9 ± 0,4	0,12	6,6 ± 0,4	0,01
Julij	6,6 ± 0,6	0,13	7,9 ± 0,7	0,01
Avgust	7,0 ± 0,4	0,05	14,4 ± 1	0,01
September	6,8 ± 0,4	0,60	17,6 ± 0,7	0,07
Oktober	4,4 ± 0,4	0,42	6,7 ± 0,7	0,05
November	3,5 ± 0,4	0,24	5,1 ± 0,9	0,03
December	3,1 ± 0,4	0,34	10,2 ± 0,9	0,04
Povprečje	5,0 ± 0,5	0,39	8,4 ± 0,7	0,04

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 2007

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
Januar	3,70 ± 0,90	0,38		0,04
Februar	4,20 ± 0,90	1,27		0,14
Marec	11,10 ± 2,50	0,72		0,08
April	7,50 ± 1,10	0,30		0,03
Maj	4,10 ± 0,90	0,08		0,01
Junij	6,30 ± 2,20	0,12		0,01
Julij	6,70 ± 1,10	0,13		0,01
Avgust	16,80 ± 3,00	0,05		0,01
September	4,40 ± 2,20	0,60		0,07
Oktober	5,10 ± 2,10	0,42		0,05
November	11,90 ± 1,70	0,24		0,03
December	3,70 ± 1,70	0,34		0,04
I. kvartal			3,3 ± 0,4	0,09
II. kvartal			4,6 ± 0,7	0,02
III. kvartal			3,4 ± 0,8	0,03
IV. kvartal			2,7 ± 0,7	0,04
Povprečje	7,1 ± 1,8	0,39	3,5 ± 0,7	0,04

VII.2 VODA

**Tabela VII.2.4: Koncentracija raztopljenega Po-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi
ter povprečni četrletni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2007**

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	10,5 ± 5,5	0,79		0,09
II. kvartal	2,5 ± 0,6	0,17		0,02
III. kvartal	2,9 ± 0,7	0,26		0,03
IV. kvartal	7 ± 1,7	0,34		0,04
Povprečje	5,7 ± 2,9	0,39		0,04

**Tabela VII.2.5: Koncentracija raztopljenega Th-230 v Brebovščici v Gorenji Dobravi
ter povprečni četrletni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2007**

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	1,73 ± 0,14	0,79		0,09
II. kvartal	2,34 ± 0,18	0,17		0,02
III. kvartal	0,94 ± 0,06	0,26		0,03
IV. kvartal	1,02 ± 0,11	0,34		0,04
Povprečje	1,51 ± 0,13	0,39		0,04

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		
	Uran (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Todraž			
BS 30	28 ± 2	6,9 ± 0,4	5,5 ± 1,7
Mrzlek	134 ± 7	4,6 ± 0,3	9,1 ± 1,7

Vodnjaki	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Dolenja Dobrava			
Dermota	24 ± 2	7,4 ± 0,4	9,8 ± 1,9

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	100	±	6	120	±	8
Ra-226	82	±	6	92	±	7
Pb-210	93	±	6	100	±	9
Th-230	79	±	20	< 70		

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	21,9 ± 4,8	126,4 ± 22,4	1870 ± 417
Todraž, mah	11,7 ± 2,4	14,9 ± 1,9	186 ± 35
Gorenja vas, mah	6,8 ± 1,1	7,4 ± 0,3	272 ± 38,8

VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

DATUM MERITEV: 07.11.2007

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	0,41	A 11	0,12
A 2	0,34	A 12	0,12
A 3	0,31	A 13	0,14
A 4	0,16	A 14	0,18
A 5	0,18	A 15	0,18
A 6	0,14	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	0,28	B 14	0,10
B 2	0,34	B 15	0,10
B 3	0,16	B 16	0,10
B 4	0,12	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	0,12	B 24	0,09
B 12	0,12	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	0,32	C 11	0,16
C 2	0,16	C 12	0,12
C 3	0,16	C 13	0,13
C 4	0,46	C 14	0,14
C 5	0,22	C 15	0,13
C 6	0,17	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	0,21	E 1	0,60
D 2	0,14	E 2	0,50
D 3	0,16	E 3	0,12
D 4	0,16	E 4	0,13
D 5	0,20	E 5	0,13
D 6	0,14	E 6	0,12
D 7	0,16	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	0,20		
F 2	0,15		
F 3	0,13		
F 4	0,14		
F 5	0,13		
F 6	0,12		
F 7	0,13		
F 8	0,13		

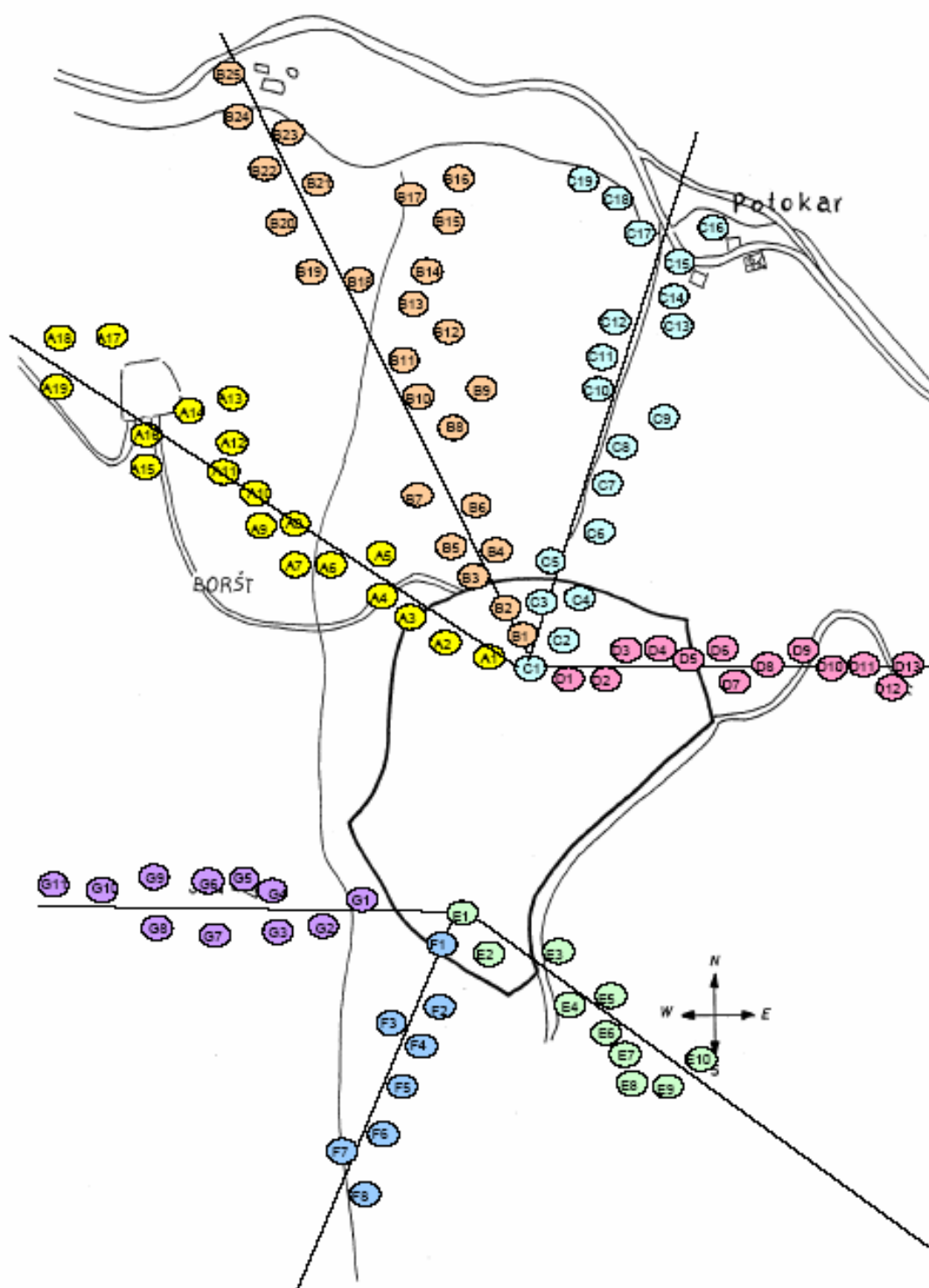
VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.1. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

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

G 1	0,16
G 2	0,13
G 3	0,14
G 4	0,14
G 5	0,11
G 6	0,12
G 7	0,13
G 8	0,12
G 9	0,13
G 10	0,13
G 11	0,12
G 12	0,13
G 13	0,13
G 14	0,13

Odlagalište Boršt



VII.5. ZUNANJE SEVANJE GAMA

VII.5.2. Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Jazbec

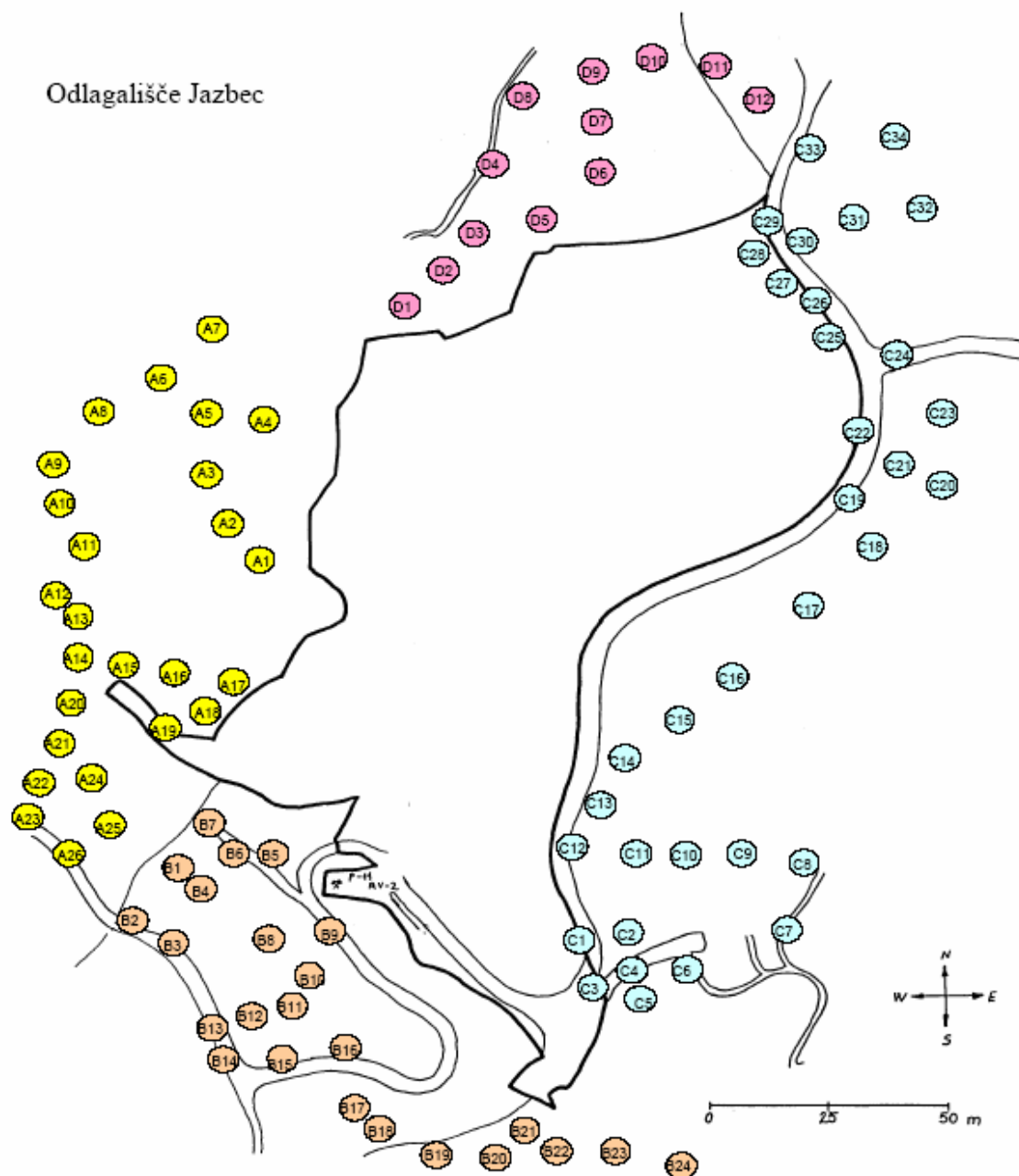
Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)	Točka merjenja	Hitrost okoliškega ekvivalenta doze ($\mu\text{Sv/h}$)
A 1	0,10	A 14	0,10
A 2	0,10	A 15	0,09
A 3	0,08	A 16	0,08
A 4	0,10	A 17	0,12
A 5	0,08	A 18	0,10
A 6	0,09	A 19	0,18
A 7	0,09	A 20	0,10
A 8	0,08	A 21	0,10
A 9	0,08	A 22	0,09
A 10	0,09	A 23	0,10
A 11	0,08	A 24	0,10
A 12	0,09	A 25	0,11
A 13	0,10	A 26	0,09
B 1	0,10	B 13	0,10
B 2	0,08	B 14	0,10
B 3	0,06	B 15	0,09
B 4	0,09	B 16	0,10
B 5	0,09	B 17	0,11
B 6	0,10	B 18	0,10
B 7	0,09	B 19	0,10
B 8	0,14	B 20	0,09
B 9	0,12	B 21	0,08
B 10	0,12	B 22	0,09
B 11	0,08	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	0,17	C 18	0,12
C 2	0,15	C 19	0,13
C 3	0,13	C 20	0,12
C 4	0,14	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	0,14
C 9	0,12	C 26	0,11
C 10	0,12	C 27	0,13
C 11	0,13	C 28	0,13
C 12	0,11	C 29	0,14
C 13	0,12	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	0,10	D 7	0,11
D 2	0,09	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	0,10
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	0,173	0,254	0,295	0,264	0,985
Jazbec	0,196	0,245	0,270	0,247	0,957
Boršt*	0,348	0,398	0,336	0,334	1,417

* V juniju 2008 je bila lokacija meritev spremenjena.

Iz južnega roba odlagališča je lokacija meritev pomaknjena 20 m bolj J proti kmetiji Potokar

VIII. LITERATURA

- [3] Regulatory Guide 4.14, "Radiological Effluent and Environmental Monitoring at Uranium Mills," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1980
- [4] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in interevencijskih nivojih, Ur. L. RS št. 49/2004.
- [5] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, 115/2003.
- [6] T. Beck: Interlaboratory Comparison 2007 of passive instruments to measure radon activity concentration or exposure to radon, BfS, 2007
- [7] C. B. Howarth: Results of the 2005 Health Protection Agency Intercomparison of Passive Radon Detectors, HPA-RPD-035, HPA, 2008
- [8] 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.
- [9] KOBAL, Ivan, SHAHIN, M., KRISTAN, Janez, SENEGAČNIK, Marjan. Sorption-emanation method for soluble radium in waters. *Health phys.*, 1974, vol. 27, str. 381-384.
- [10] BENEDIK, Ljudmila, VREČEK, Polona. Determination of [²¹⁰Pb and [²¹⁰Po in environmental samples. *Acta chim. slov.*, 2001, no. 2, vol. 48, str. 199-213.
- [11] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poročila IJS 1990-1995.
- [12] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
- [13] Poročila o monitoringu radioaktivnosti v življenskem okolju RS, 1964-2006, ZVD
- [14] Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, New York.
- [15] Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, 1993, Pergamon Press, New York.
- [16] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
- [17] M.J. Križman, Metodologija za ocenjevanje doz sevanja za referenčne skupine prebivalstva na območju RŽV, RŽV, 2008.
- [18] Age dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 71, 1995, Pergamon Press, New York.
- [19] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1990.
- [20] Principles of Monitoring for the Radiation Protection of Population, ICRP Publication 43, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [21] J. Rojc, Prehrabene navade prebivalcev v okolici RŽV, 2008.
- [22] Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection, ICRP Publication 101, Elsevier, 2006
- [23] 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.
- [24] M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, IJS, 1989.
- [25] M. Križman, Radon in njegovi kratkoživi potomci v okolju kot posledica rudarjenja urana na Žirovskem vrhu, doktorska disertacija, Ljubljana, 1999