

IJS Delovno Poročilo
IJS-DP-štev. 9552
Ljubljana, marec 2007

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

POROČILO ZA LETO 2006



Ljubljana, marec 2007

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija



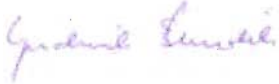


Naročnik: RUDNIK ŽIROVSKI VRH, p.o.
Todraž 1, 4224 Gorenja vas

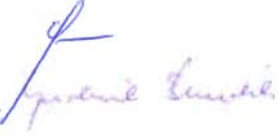

Izvajalca: Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana

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

Pogodba št.: 143/120/05

Nosilec naloge: dr. Ljudmila Benedik 

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.
dr. Ljudmila Benedik, univ. dipl. kem. 
dr. Urška Repinc, univ. dipl. kem. 

Izvajalci meritev:
Institut »Jožef Stefan«: dr. Ljudmila Benedik, dr. Urška Repinc, dr. Janja Vaupotič, dr. Matjaž Korun, dr. Marjan Nečemer, mag. Branko Vodenik, dr. Tim Vidmar, Marko Štok, univ.dipl.inž.kem.tehnol., Janja Smrke, 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-9552

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

Komisija za pregled:
predsednik: dr. Borut Smodiš 
član: prof. dr. Milena Horvat 
član: dr. Zvonka Jeran 

Nosilec naloge: dr. Ljudmila Benedik

Vodja organizacijske enote: prof. dr. Milena Horvat



NASLOV POROČILA:

**NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLJU RUDNIKA URANA ŽIROVSKI VRH
MED IZVAJANJEM PROGRAMA TRAJNEGA PRENEHANJA IZKORIŠČANJA
URANOVE RUDE IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE – REZULTATI ZA LETO
2006**

Avtorji:

dr. Gregor Omahen, dr. Ljudmila Benedik, dr. Urška Repinc

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 2006 so pokazale, da znaša ocenjena letna prejeta efektivna ekvivalentna doza za posameznika iz najbolj obremenjene skupine okoliškega prebivalstva 0,26 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 - RESULTS FOR 2006**

Authors:

Gregor Omahen, Ph.D., Ljudmila Benedik, Ph.D, Urška Repinc, Ph.D.

KEYWORDS:

Uranium mine, environmental radioactivity, long-lived radionuclides, chemical pollutants, emission, imission, decay products, assessment of public exposure.

ABSTRACT:

Measurements of radioactivity in the environment of the former uranium mine at Žirovski vrh showed that the annual effective dose equivalent for members of public in the year 2006 was estimated to be about 0,26 mSv. This represents approximately one fourth of recommended dose limit for public exposure.

KAZALO

UVOD	2
I. METODE MERJENJA.....	4
II. OVREDNOTENJE REZULTATOV	7
II.1 ZRAK.....	7
II.1.1 Koncentracije dolgoživih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210	7
II.1.2 Koncentracije Rn-222 v okolju	9
II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov	13
II.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA	13
II.2.1 Vodotoki	13
II.2.2 Podtalnica	16
II.3 SEDIMENTI	17
II.4 ZUNANJE SEVANJE GAMA.....	19
II.4.1 Zunanje sevanje v okolici odlagališča HMJ na Borštu	20
II.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališč jamske jalovine Jazbec	20
III. OCENA PREJETIH DOZ SEVANJA.....	21
III.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI	21
III.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku.....	21
III.1.2 Rn-222, inhalacija.....	22
III.1.3 Kratkoživi potomci Rn-222, inhalacija	22
III.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI.....	24
III.2.1 Ocena doze zaradi ingestije - hrana.....	24
III.2.2 Ocena doze zaradi ingestije - pitna voda.....	26
III.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA.....	27
III.3.1 Trdni delci z dolgoživimi radionuklidi.....	27
III.3.2 Radon-222 in radonovi potomci	27
III.4 IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA SEVANJU IZ VIROV RŽV	28
IV. ZAKLJUČKI IN OCENA VPLIVOV NA OKOLJE.....	30
V. REZULTATI MERITEV.....	33
VI. LITERATURA	57

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) 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 izkoppine 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.

V letu 2006 je bil 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 v letu 2006 niso izvajale 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 letu 2006 niso izvajale, so se pri izračunu skupne izpostavljenosti privzele vrednosti iz leta 2005.

Najpomembnejši del programa v letu 2006 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 2006 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). V program so bile vključene meritve sedimentov v Brebovščici po dotoku vseh iztek iz RŽV. Meritev sedimentov v Todraščici in Sori program nadzora v letu 2006 ni zajemal.

V letu 2006 smo, tako kot v letih 1992 - 2005, izvedli meritve zunanjskega gama sevanja v okolici odlagališč jamske jalovine. V primerjavi z nadzorom v obdobju 1992- 2005 smo izvajali meritve zunanjskega 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. Prispevek k dozi prebivalstva zaradi zunanjskega 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 2006 sta izvajala Inštitut "Jožef Stefan" kot nosilec projekta in ZVD Zavod za varstvo pri delu kot podizvajalec, ki je tudi ocenil doze na prebivalce v skladu z dogovorjeno metodologijo.

V letu 2006 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. Enaka je ostala tudi metodologija izračuna letne efektivne doze, ki jo je prejel povprečni odrasli predstavnik kritične skupine.

I. METODE MERJENJA

Metode vzorčevanja in določevanja radionuklidov se v letu 2006, 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 (Amersham).

I.1.2 Za meritve koncentracije radona v okolju uporabljamo dve metodi.

Prva je določanje koncentracije radona z detektorji sledi. Koncentracijo določamo preko daljših časovnih obdobj; po programu nadzora merimo trimesečne povprečne koncentracije. Pri meritvah smo uporabili detektorje, ki so jih izdelali v FK iz Karlsruhe-a v Nemčiji. Kalibrirani so bili v centralnem nemškem laboratoriju za umerjanja PTB v Braunschweigu in na mednarodnih interkalibracijah (NRPB, Velika Britanija). 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 2-3 Bq/m^3 . Ogleni adsorberji so bili umerjeni na BFS v Nemčiji, Institut für Strahlenschutz, na interkalibracijah evropske skupnosti v NRPB v Veliki Britaniji in redno preverjani s primerjalnimi laboratorijskimi meritvami (Institut "Jožef Stefan", RŽV).

I.1.3 Metoda za določanje radona z adsorbcijo na aktivnem oglju je opisana pod točko I.1.2.

I.2 Vode

Vodo iz potoka Brebovščica smo vzorčevali enkrat dnevno vsak dan v letu. Vsakič smo odvzeli 1,6 L vode. Vodo iz potoka Todraščica smo vzorčili le ob delovnih dnevih in sicer po 1 L vode. Vzorce smo takoj po odvzemu prefiltrirali skozi filter (Milipore - $0,45 \mu\text{m}$), 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 (Byrne, Benedik, 1988). Kemijski izkoristek smo določili z sledilcem U-235. Spodnja meja občutljivosti metode je nekaj $\mu\text{g}/\text{m}^3$, eksperimentalna napaka 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 (Kobal s sodelavci, 1974) 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 napaka pa do 20 %.
- I.2.3 Za določitev Pb-210 in Po-210 smo vzorcem površinskih vod najprej dodali znano aktivnost Po-208, 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 (Benedik, Vreček, 2001). Izkoristek detektorja smo določili s standardno raztopino Pb-210 (Amersham).
- 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.

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.

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

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. Merilnik je bil umerjen na inštitutu PTB v Nemčiji. Odziv merilnika smo primerjali tudi z rezultati TLD in z odzivi proporcionalnega števca BERTHOLD Umo LB 123, sonda 1236.

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 napako. Rezultate za absorbirano dozo v zraku podajamo v enotah $\mu\text{Gy/h}$.

- 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 absorbirano dozo v zraku podajamo v enotah $\mu\text{Gy/h}$.

II. OVREDNOTENJE REZULTATOV

II.1 ZRAK

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

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

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

Rezultati meritev za leto 2006 so zbrani v tabelah (Tabeli V.1.1 in V.1.2). Vrednosti dolgoživih radionuklidov v zraku so podobne ali nižje kot v preteklih letih, 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.

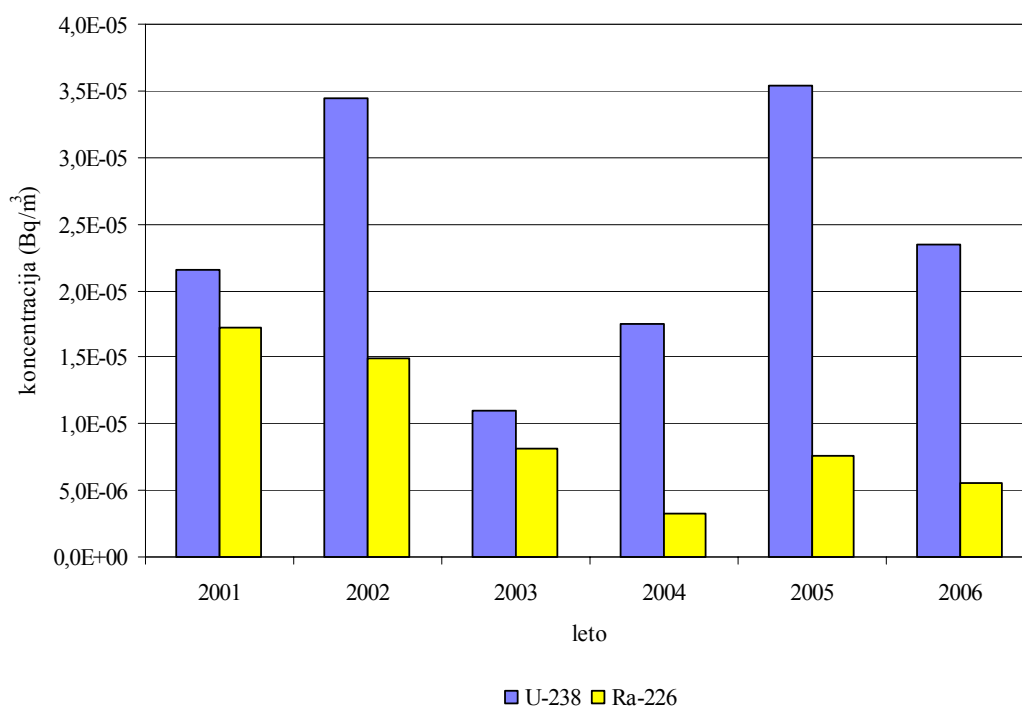
Za uran in radij se koncentracije v Gorenji Dobravi in Todražu gibljejo med $0,001 - 0,038 \text{ mBq/m}^3$. Koncentracije urana in radija so v drugi polovici leta v Todražu višje, kot v prvi polovici leta ali v preteklih letih. V drugi polovici leta je RŽV izvajal intenzivna dela na odlagališčih. Primerjava koncentracij U-238 in Ra-226 v letu 2006 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.

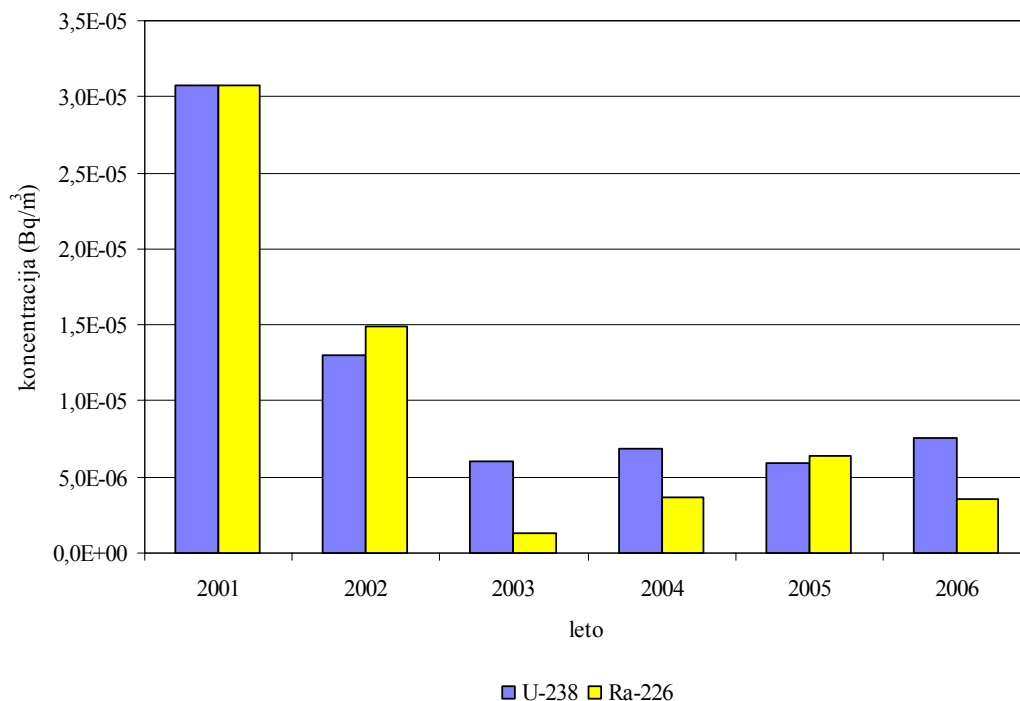
Koncentracije Pb-210 so v okviru vrednosti iz preteklih let. Večji del Pb-210 v zraku v aerosolih je posledica razpada radonovih potomcev v zraku, le manjši del izvira iz dolgoživih radionuklidov. Ker so bile v letu 2006 koncentracije radona nekaj nižje kot v 2005, so tudi vrednosti Pb-210 v letu 2006 nižje kot v 2005. Sicer pa je kontaminacija ozračja s Pb-210 rudniškega izvora manjša kot odstotek mejne izpeljane koncentracije.

Tabela II-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
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
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
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
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



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

II.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 za posledico manjše prispevke radona v okolje iz teh površin. V času izvajanja sanacije propusta pod odlagališčem Jazbec, to je od januarja do konca maja 2006 je bila odstranjena zapora za zrak, kar je zaradi naravnega zračenja propusta prispevalo dodaten radon v okolje.

Od meseca junija 2006 dalje je potekalo preoblikovanje SV brežine odlagališča Jazbec. Pri tem je bila začasno odstranjena obstoječa prekrivna plast in vgrajena nova. Na zgornji etaži odlagališča pa je potekalo preoblikovanje površine odlagališča s premikom jamske jalovine. Vse to je pomenilo dodaten prispevek radona v okolje, ki ga je sicer mogoče oceniti, medtem ko dejanske meritve tega niso potrdile, predvsem zaradi spremenljivih vremenskih razmer.

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 V.1.3).

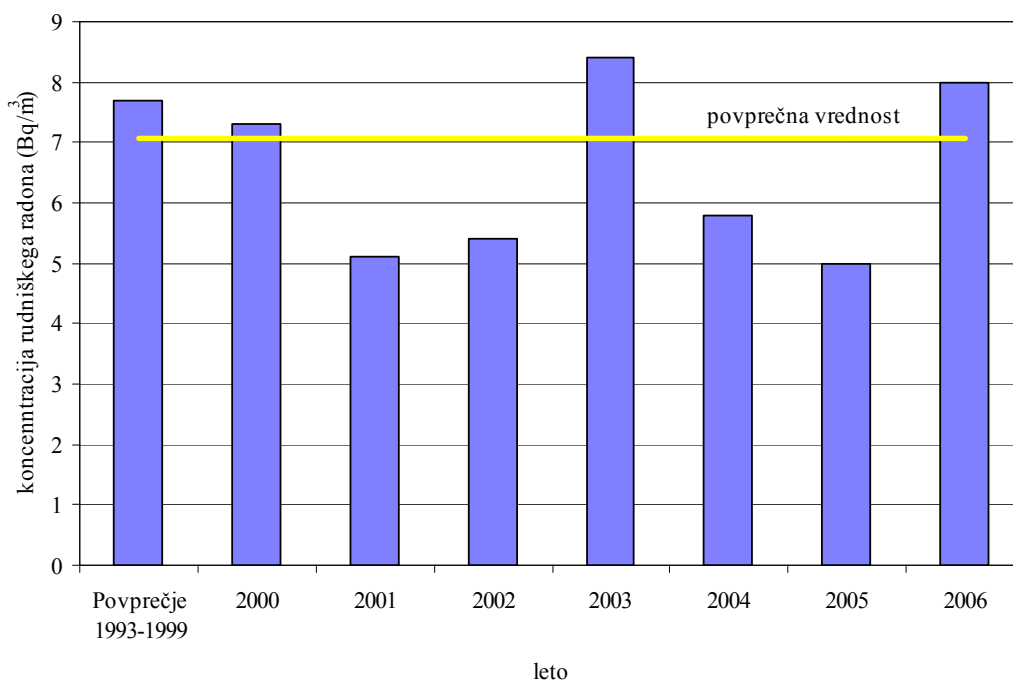
Iz omenjene tabele ocenimo prispevek RŽV v letu 2006:

$$\text{povečanje konc. Rn-222} = \langle 27,2 \rangle - \langle 19,2 \rangle \text{ Bq/m}^3 = \langle 8,0 \rangle \text{ Bq/m}^3.$$

Prispevek rudnika k povečanim koncentracijam radona v okolju pod Žirovskim vrhom je v letu 2006 podoben kot v letu 2003 ali v letih 1993-2000. V letu 2006 RŽV ni izvajal aktivnosti, ki bi bistveno vplivale na spremembo koncentracije radona v okolju. Razlike po letih so bolj posledica sipanja rezultatov 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 pripevek 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. Iz tabele (Tabela II-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.

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

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



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

Povprečna vrednost letnega prispevka RŽV v obdobju po prenehanju obratovanja rudnika 1991-2006 je 7,06 Bq/m³.

V letu 2006 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 napako. Obe meritvi sta bili izvedeni v obdobju z manj stabilnim ozračjem.

Tako kot v preteklih letih je v letu 2006 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 temperaturne inverzije, kar smo opazili tudi leta 2006. Najnižje koncentracije v tem času namerimo nad inverzijsko mejo v Debelem Brdu, ki leži nad povprečno višino inverzijske meje.

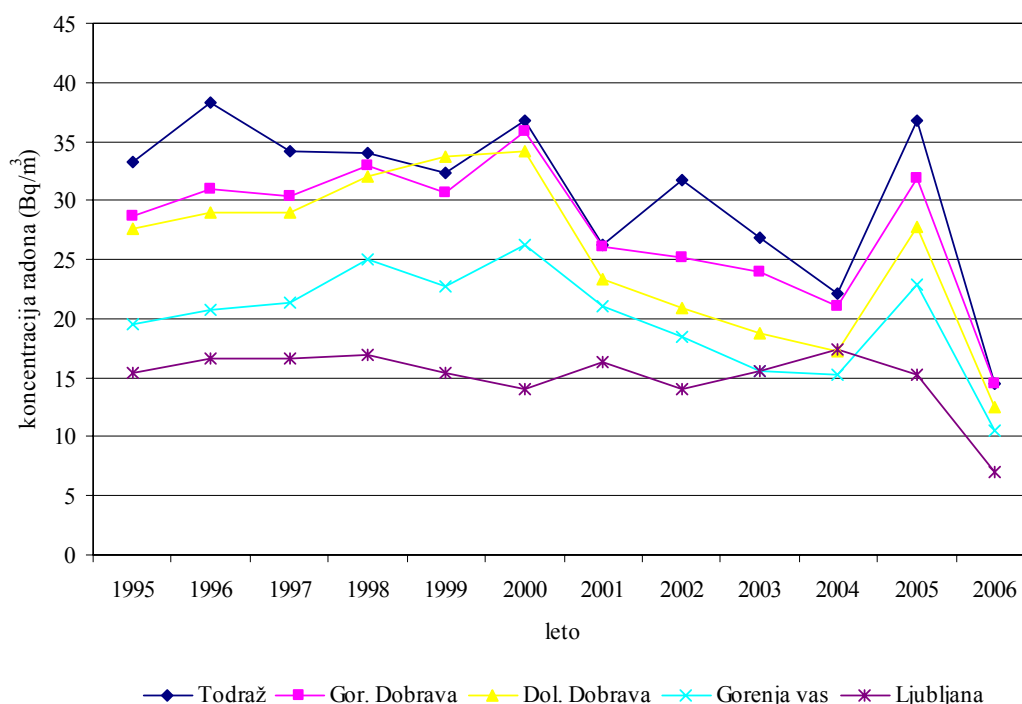
Tabela II-3: Koncentracija Rn-222 v okolici rudnika urana Žirovski vrh

Lokacija	Oddaljenost od obratov RŽV	Koncentracija Rn-222 (Bq/m ³)
		Povprečje 2006
Todraž	0,4 km	14,5
Gorenja Dobrava	1,4 km	14,5
Dolenja Dobrava	1,8 km	12,5
Gorenja vas	2,6 km	10,5
<i>Ljubljana</i>	<i>26 km</i>	<i>7,0</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 V.1.4 in V.1.5). Za primerjavo z rezultati preteklih let podajamo pregledno tabelo (Tabela II-4) in graf (Slika 4) s povprečnimi letnimi koncentracijami dobljenimi iz dvodnevni meritev.

Tabela II-4: Povprečne letne koncentracije Rn-222 (Bq/m³) v okolici RŽV v zadnjih 7 letih in povprečje za obdobje od 1995-2006

Lokacija	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Povprečje 1995 - 2006
Todraž	36,7	26,3	31,7	26,8	22,1	36,7	14,5	30,6
Gor. Dobrava	35,9	26,1	25,2	24	21	31,9	14,5	27,7
Dol. Dobrava	34,2	23,3	20,9	18,8	17,3	27,8	12,5	25,5
Gorenja vas	26,2	21	18,4	15,6	15,2	22,9	10,5	19,9
<i>Ljubljana</i>	<i>14</i>	<i>16,3</i>	<i>14,1</i>	<i>15,6</i>	<i>17,4</i>	<i>15,3</i>	<i>7,0</i>	<i>15,1</i>



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

Koncentracije Rn-222 v letu 2006 so nižje kot zadnjih nekaj let in to kljub temu, da je prispevek rudniškega radona večji. Razlog povečanja v resnici ni v večjih koncentracijah radona pač pa po vsej verjetnosti zaradi tega ker smo v letu 2006 upoštevali le dve meritvi, obe pa sta bili izvedeni v obdobju z manj stabilnim ozračjem. V Todražu in Gorenji Dobravi, ki sta najbližja rudniku je povprečje zadnjih let 30,6 Bq/m³ in 27,7 Bq/m³. V dolini reke Sore, kjer vpliva rudniških virov radona ni moč zaznati, se koncentracija spusti pod 20 Bq/m³. Iz tega sklepamo, da je rudniški prispevek k povečanju koncentracije Rn-222 v okolici med 5–10 Bq/m³, v letu 2006 okoli 8 Bq/m³.

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 do 4 krat večje od vrednosti v okolici rudnika. Iz že navedenih razlogov so v letu 2006 razlike manjše.

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

II.1.3 Meritve radona v bližini emisijskih virov

V letu 2006 smo redno merili koncentracije radona v bližini emisijskih virov, to je v okolici odlagališč Boršt in Jazbec. Na odlagališču Boršt so koncentracije radona največje na spodnjem robu odlagališča (13–25 Bq/m³), nižje so na sredini slemena. Izven odlagališča koncentracije padajo in se pri kmetiji Potokar in v Bačenskem mlinu približujejo tistim v Gorenji Dobravi. Na odlagališčih Jazbec in Boršt so bile povprečne koncentracije radona v letu 2006 precej podobne (Tabeli V.1.6 in V.1.7). Nekaj večje so bile sicer na Borštu, a razlika je v okviru standardne napake meritev.

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. Kot v preteklih letih, je tudi v letu 2006 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. 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.

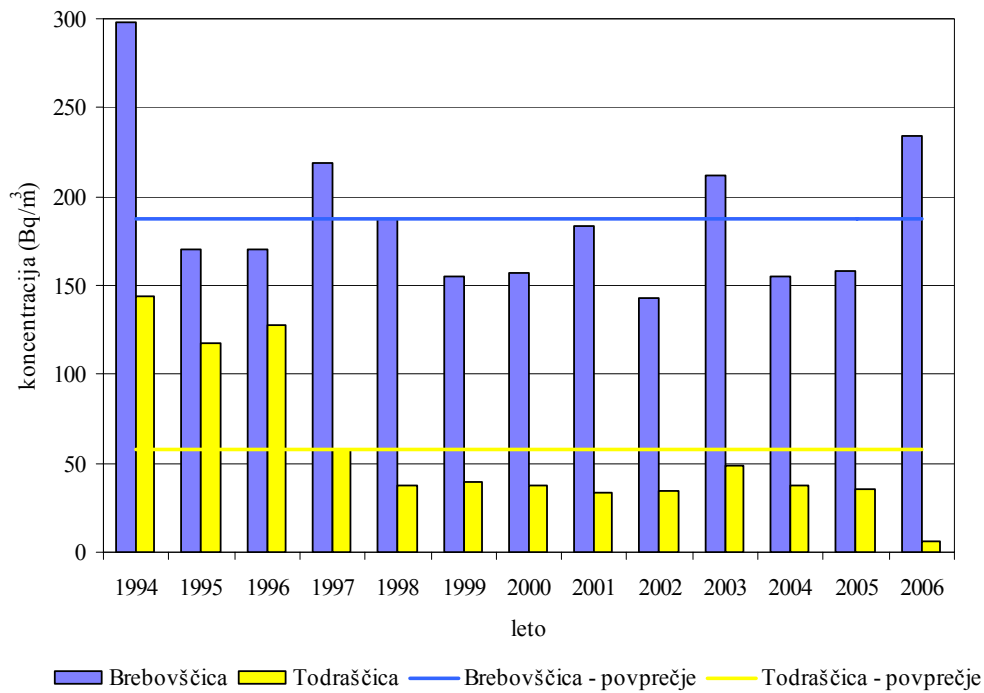
II.2 POVRŠINSKE VODE IN PODTALNICA

II.2.1 Vodotoki

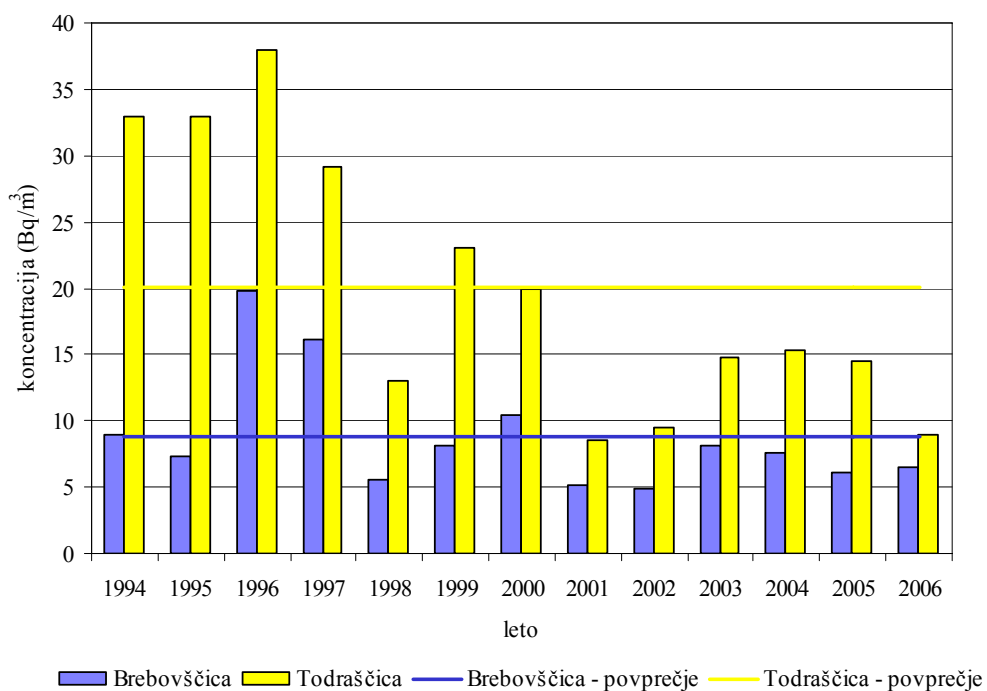
Merili smo koncentracije raztopljenih dolgoživih radionuklidov v Todraščici in Brebovščici. Rezultati so podani v tabelah (Tabele V.2.1–V.2.5). Prispevek rudnika k onesnaženju voda ocenimo iz primerjave med koncentracijami radionuklidov v vodah po izlivu rudniških iztek in koncentracijami istih radionuklidov v neonesnaženih vodah. Primerjava koncentracij (absolutnih vrednosti) v obdobju obratovanja in zadnjih let je podana na slikah (Slika 5, Slika 6, Slika 7). Koncentracije med obratovanjem rudnika v obdobju 1985- 1990 so zbrane v tabeli (Tabela II-5).

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

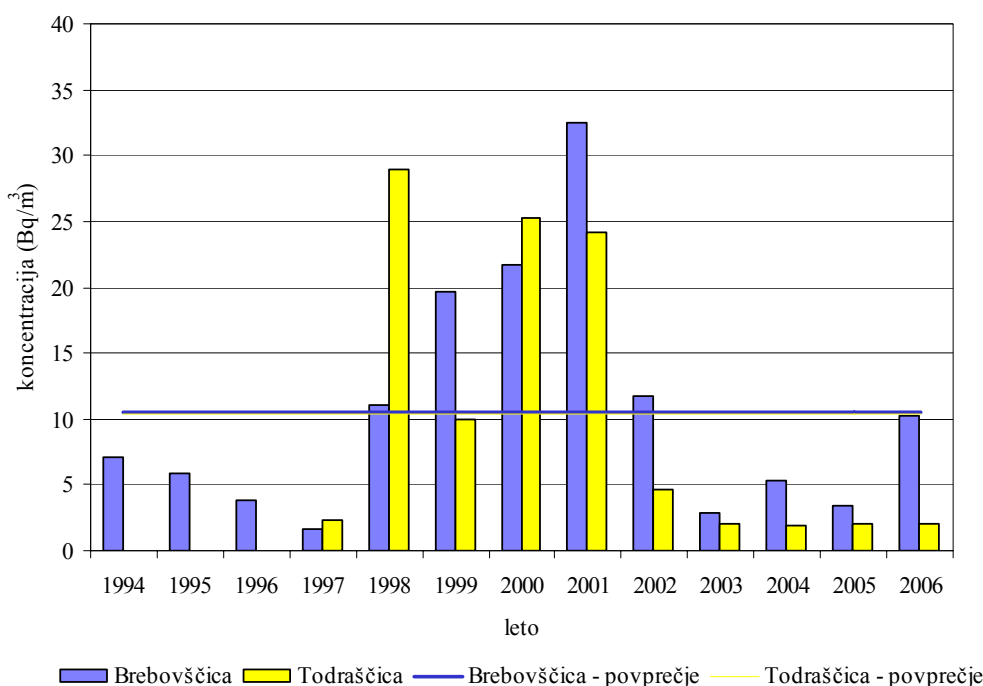
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica	200-330	20-30	5-10
Todraščica	100	50-60	10



Slika 5: Povprečne koncentracije U-238 v Brebovščici in Todraščici



Slika 6: Povprečne koncentracije Ra-226 v Brebovščici in Todraščici

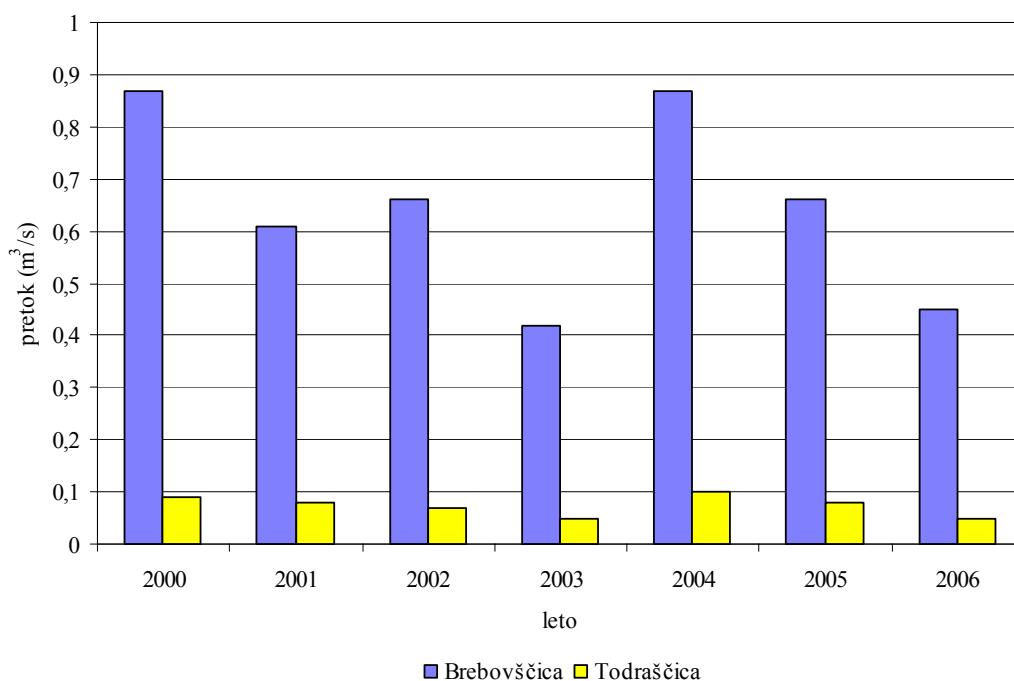


Slika 7: Povprečne koncentracije Pb-210 v Brebovščici in Todraščici

Koncentracije posameznih merjenih radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 so nizke in dosegajo 1–2 % mejne izpeljane koncentracije za pitno vodo (*Ur. L. RS št. 49/2004*). 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 izkoppine 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 podobne kot v preteklih letih. Vseeno pa lahko opazimo, da se v Todraščici koncentracija U-238 in Ra-226 zmanjšujejo, kar je najbrž posledica tega, da na odlagališču Boršt ne potekajo dela. Večjo koncentracijo U-238 v Brebovščici si razlagamo podobno kot v letu 2003; leto 2006 je bilo podobno kot leto 2005 zelo sušno in so bili pretoki v tem letu skoraj tretjino nižji kot je običajno (Slika 8). Koncentracije Pb-210 so na podobno nizki ravni kot v preteklih letih. Koncentracije Pb-210 so po letu 2001 3 do 5 krat nižje kot poprej.

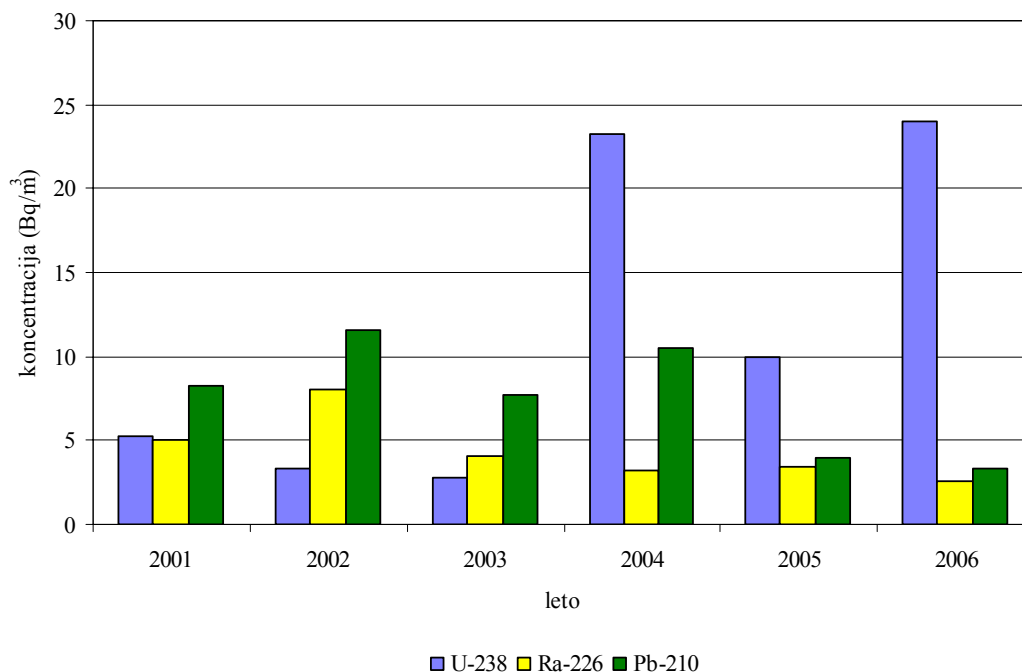


Slika 8: Povprečni pretoki v Brebovščici in Todraščici

II.2.2 Podtalnica

V programu nadzora so bile v letu 2006 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. Namesto v vodi iz vrtine BV-26 smo spremljali koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v izviru Mrzlek, kajti RŽV je ugotovil povezavo z vodami iz Jazbeca. Rezultati so podani v tabeli (Tabela V.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 2006 so koncentracije Ra-226 v vrtinah višje kot v vodnjaku pri kmetiji Drmota, tudi Pb-210 je v vrtinah več kot v vodnjaku kmetije Drmota. V letu 2006 je koncentracija U-238 v vodnjaku pri Drmoti podobna kot v letu 2004 in višja za približno faktor 2 kot v 2005. Koncentracija pa je od leta 2004 večja kot pred letom 2004 (Slika 9). Očitno intenzivna dela vplivajo na nekaj večjo koncentracijo urana.



Slika 9: Koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v vodnjaku pri Dermoti

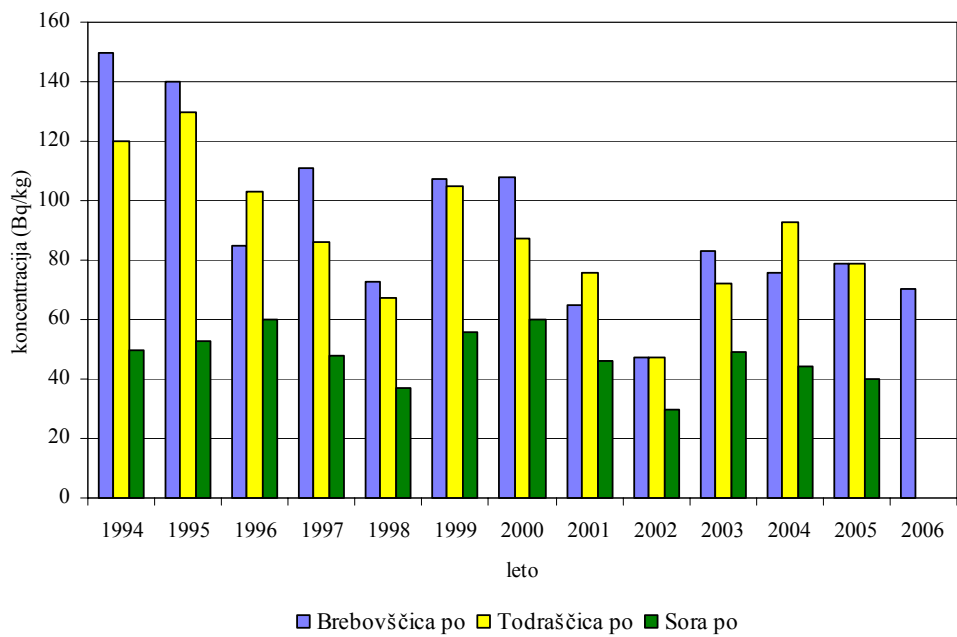
II.3 SEDIMENTI

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

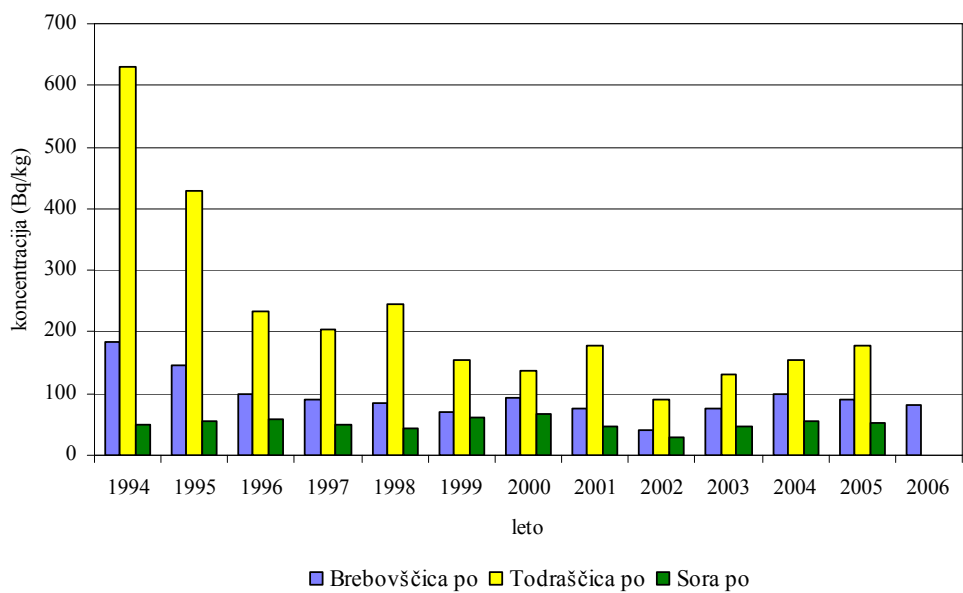
V tabeli (Tabela II-6) so podane koncentracije radionuklidov v sedimentih v obdobju obratovanja rudnika. Na slikah (Slika 10, Slika 11, Slika 12) so grafični prikazi gibanja koncentracije U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV.

Tabela II-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

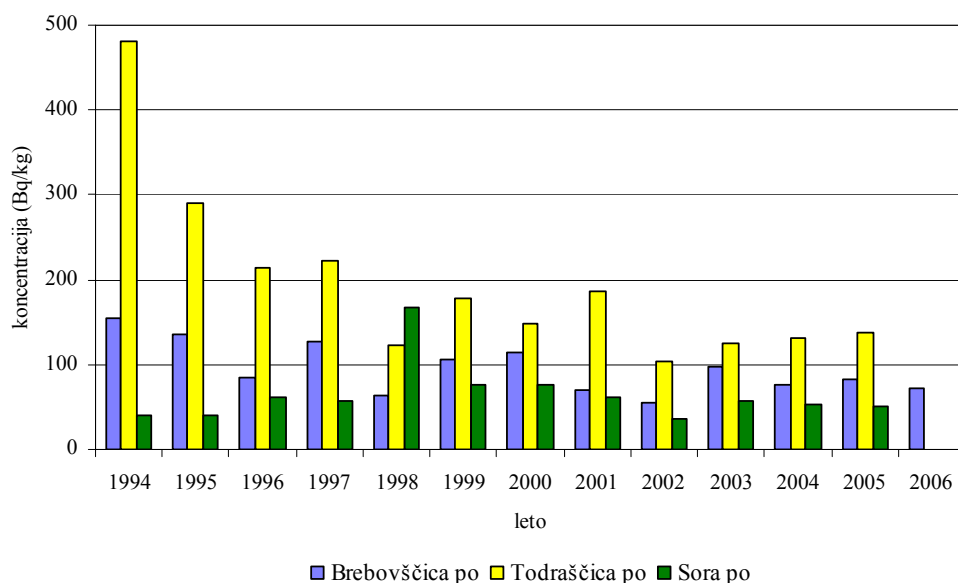
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Brebovščica po	200-250	250-300	200-300
Todraščica po	180 -250	500-600	450 - 550
Sora po	50 -65	60-70	50 - 60



Slika 10: Koncentracija U-238 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 11: Koncentracija Ra-226 v sedimentih voda v okolici RŽV



Slika 12: Koncentracija Pb-210 v sedimentih voda v okolici RŽV

Vsebnosti radionuklidov U-238, Ra-226 in Pb-210 v sedimentih Brebovščice so v letu 2006 podobne vrednostim v preteklih letih oziroma so celo nekaj nižje. Vrednosti so po letu 2000 nižje kot pred tem. Razlog je v intenzivnem nasipanju odlagališča Jazbec in povezanega manjšega spiranja radionuklidov iz odlagališča. S Pb-210 in Ra-226 so bili pretekla leta najbolj kontaminirani sedimenti v Todraščici, urana pa je več v Brebovščici.

II.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 V.4.3). Do leta 2006 smo meritve mesečno izvajali na 9 lokacijah v okolici RŽV. V letu 2006 so bile meritve kvartalne.

Poleg meritev s TL dozimetri smo okoli odlagališč Boršt in Jazbec merili hitrosti absorbirane doze v zraku (Tabeli V.4.1 in V.4.2), medtem ko meritev na odlagališčih P-1 in P-9 v letu 2006 ni bilo več v programu. Meritve hitrosti doz so pokazale podobne vrednosti kot v preteklih letih.

V splošnem velja (UNSCEAR 2000), da k sevanju ozadja oziroma k zunanemu sevanju prispevata uranova in torijeva razpadna vrsta, K-40, kozmično sevanje in črnobilska kontaminacija. Vrednosti ozadja izmerjene že pred obratovanjem rudnika in pred črnobilsko kontaminacijo (ZVD RS 1977) so bile med 0,10–0,12 $\mu\text{Gy/h}$. Naravni gama sevalci so enakomerno porazdeljeni v zemlji, medtem ko je črnobilska kontaminacija višja v zgornjih plasteh.

Prispevek rudnika k zunanemu 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.

II.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, saj je stanje na odlagališču že več let nespremenjeno.

Kot ozadje hitrosti zunanje doze zunaj ograje odlagališča smo vzeli 0,13–0,14 $\mu\text{Gy/h}$. To je več kot so bile hitrosti doz pred obratovanjem rudnika, saj se je ozadje zaradi černobilske kontaminacije povečalo. Meritve smo izvajali v pohodnih linijah, v smereh proti hišam, ki se nahajajo v bližini odlagališča.

Na površini odlagališča je hitrost doze 0,5–1,0 $\mu\text{Gy/h}$. Na ograji na jugovzhodni in jugozahodni strani je hitrost doze 0,30–0,40 $\mu\text{Gy/h}$, na južni strani 0,15–0,25 $\mu\text{Gy/h}$ in na severni strani 0,20–0,25 $\mu\text{Gy/h}$. 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.

II.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 0,09–0,15 $\mu\text{Gy/h}$. Vplivno območje in hitrosti doz so se v okolici odlagališča Jazbec zmanjšale zaradi nanašanja prekrivke v letih 1998–2002 in dovažanja materiala iz odlagališč P-1 in P-9 predvsem v letih 2004, 2005 in 2006. Ko se oddaljujemo 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. Potrdili smo nekaj vročih točk, ki so jih odkrili že sodelavci IJS (Poročilo IJS 1992) in smo jih našli tudi v letu 2006, kjer je bila hitrost doze večja od običajne na tem območju. Mesta s povišanimi hitrostmi doze so na dovozu k transformatorski postaji TP-11, medtem ko nad vhomom v rudnik P-11 v letu 2006 nismo več zaznali točk z bistveno povišanim sevanjem. RŽV je saniral lokacijo nad P-11.

III. 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 (Ur. L. RS št. 49/2004)* in *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur. L. RS št. 115/2003)*. Faktorji so enaki tistim v BSS (Basic Safety Standards, IAEA, 1996), ki smo jih uporabljali v izračunih v preteklih letih. Pri dozah zunanjega sevanja smo upoštevali pretvorbene faktor med sievertem in grayem po UNSCEAR-ju.

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 (Ur. L. RS št. 115/2003)*. Dozna konverzija iz *Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur. L. RS št. 115/2003)* ima osnovo v ICRP 65.

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 2006 niso izvajale, so se pri izračunu skupne izpostavljenosti privzele vrednosti iz leta 2005.

III.1 PREJETE DOZE SEVANJA PO ZRAČNI POTI

III.1.1 Dolgoživi radionuklidi v zraku

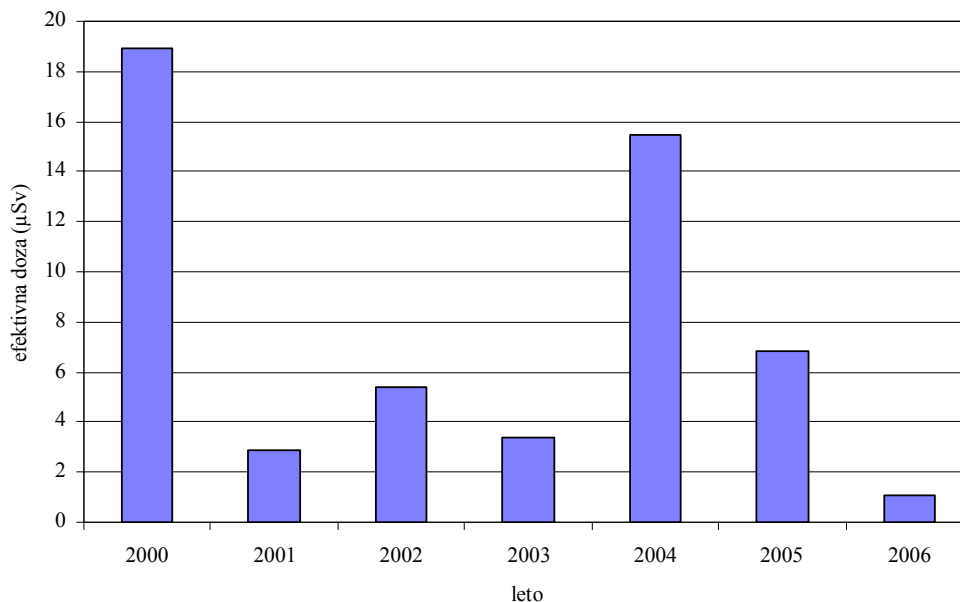
Letno efektivno dozo na posameznika v okolici RŽV zaradi dolgoživih radionuklidov uran-radijeve vrste v zraku, smo ocenili z uporabo doznih pretvorbene faktorjev po *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS št. 49/2004)*. Upoštevali smo, da so U-238, Ra-226 in Pb-210 v ravnotežju s svojimi potomci. Pri izračunu smo uporabili rezultate meritev iz tabele V.1.1. Upoštevali smo povprečno koncentracijo v bližnjem okolju rudnika (Todraž, 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.

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

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

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



Slika 13: Efektivne doze v okolici RŽV zaradi vdihavanja dolgoživih radionuklidov v zraku

III.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 GSF Report S-626 in Radiation Protection Dosimetry (1985). Upoštevali smo, da dnevna človekova aktivnost sovпада z najnižjimi koncentracijami radona. Kot osnovni merski podatek za izračun smo upoštevali povprečno vrednost dodatne koncentracije Rn-222 zaradi RŽV.

Ocenjena efektivna ekvivalentna doza zaradi inhalacije Rn-222 v letu 2006 je:

$$H_E = 6,0 \mu\text{Sv}$$

in je primerljiva z dozami zaradi inhalacije radona v preteklih letih. Efektivno ekvivalentno dozo H_E bomo v nadaljnjem izvajanju enačili z efektivno dozo E_T .

III.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. 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.

Dozne pretvorbene faktorje smo privzeli po *Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur. L. RS št. 115/2003)*. Povprečne hitrosti dihanja pri različnih dejavnostih so privzete po publikaciji OECD/NEA (1983).

Povprečni ravnovesni faktor za radon v hišah smo privzeli po ICRP 50 in je 0,45. Tudi naše meritve potrjujejo, da je faktor ravnovesja v okolici RŽV v bližini te vrednosti.

Produkt koncentracije in ravnovesnega faktorja, to je ravnotežna ekvivalentna koncentracija radona, je najvišja na področju Gorenje Dobrave (poročilo IJS 1990). V Todražu in Dolenji Dobravi je nekaj odstotkov nižja. Vendar so te razlike sorazmerno majhne in vse prebivalce v dolini Brebovšice, v skladu s priporočili ICRP 43 za homogenost kritične skupine, obravnavamo kot eno kritično skupino.

Zaradi rudnika je bila koncentracija radona na prostem v preteklih letih v povprečju večja za okoli 7 Bq/m³ (Slika 3). V obdobju obratovanja rudnika so se prirastki h koncentraciji gibali med 6,2-9,3 Bq/m³.

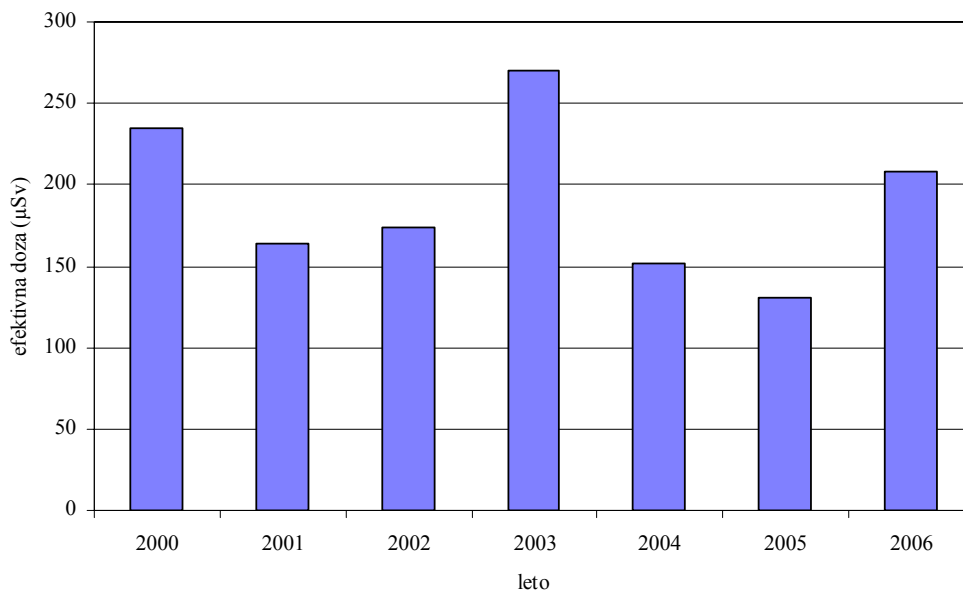
V letu 2006 je koncentracija radona povečana za 8,0 Bq/m³. Efektivna ekvivalentna doza zaradi inhalacije radonovih kratkoživih potomcev je bila v letu 2006:

$$H_E = 0,208 \text{ mSv.}$$

Najbolj izpostavljeni so kmetje, ki vseskozi živijo na območju vpliva rudnika in so v letu 2006 prejeli dozo 0,23 mSv. Delavci, ki se na delo vozijo v druge kraje so manj obremenjeni in so dobili prejeli dozo 0,18 mSv.

Doze smo izračunali 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)*.

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 14). 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 14: Efektivne letne doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev

III.2 PREJETE DOZE PO PREHRAMBENI POTI

III.2.1 Ocena doze zaradi ingestije - hrana

Ker v letu 2006 v programu niso bile zajete meritve hrane, za oceno doze v letu 2006 privzemamo podatke iz leta 2005.

Efektivne doze (E) smo izračunali z uporabo konverzijskih faktorjev iz *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. L. RS št. 49/2004)*. 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 III-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. Celotno pri istovrstnih vzorcih so lahko variacije večje od razlike koncentracij med vzorci vzetimi v okolici rudnika in tistimi vzetimi na referenčnih lokacijah (IJS, poročila 1988-1990). Meritve so pokazale, da so vrednosti radionuklidov v vzorcih hrane vzetih v okolici RŽV in na referenčni lokaciji pod mejo poročanja, ki je bila 0,1 Bq/kg, oziroma za nekatere vzorce 0,04 Bq/kg. V tem primeru smo v izračunu doze upoštevali kot da je bila izmerjena specifična aktivnost 0,1 Bq/kg oziroma 0,04 Bq/kg. Če radionuklida v vzorcu nismo izmerili, smo privzeli kot da ga v vzorcu ni.

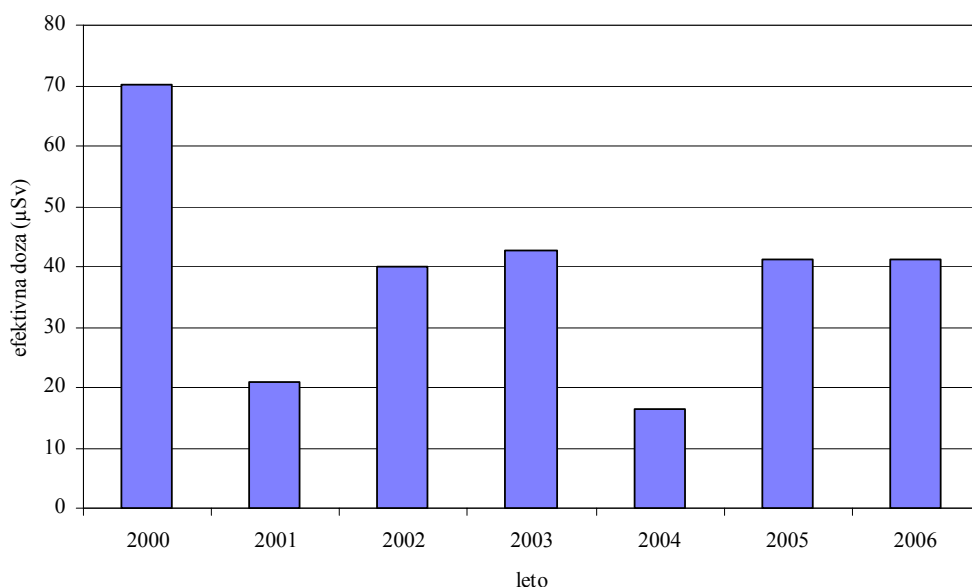
Če vzorca hrane ne uspemo dobiti, v izračunu upoštevamo izmerjeno vrednost iz zadnjega leta, ko smo vzorec hrane dobili (za meso tako v izračunu upoštevamo vrednost iz leta 2004).

Običajno smo v izračunu upoštevali hrano iz kmetije Potokar, ki je imela dokaj visoke vrednosti radionuklidov.

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

$$E < 42 \mu\text{Sv}.$$

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 (Slika 15), vrednosti pa moramo jemati z veliko mero previdnosti.



Slika 15: Letne efektivne doze zaradi zauživanja hrane pridelane v okolici RŽV

Tabela III-1: Vsebnost Ra-226 in Pb-210 v živilih iz okolice RŽV in letna količina zaužite hrane (podatki za leto 2005)

Vrsta hrane	Ra-226 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)	Količina (kg/leto)
mleko	0,03	0,2	180
jajca	0,55	0,8	84
meso	0,35	0,2	40
krompir	0,3	0,86	100
zelje	0,06	0,39	30
sadje	0,04	0,54	50

Ribe iz Brebovščice in Sore predstavljajo le manjši delež v prehrani ljudi. Ker podobno kot za hrano program v letu 2006 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 doza zaradi zauživanja rib le:

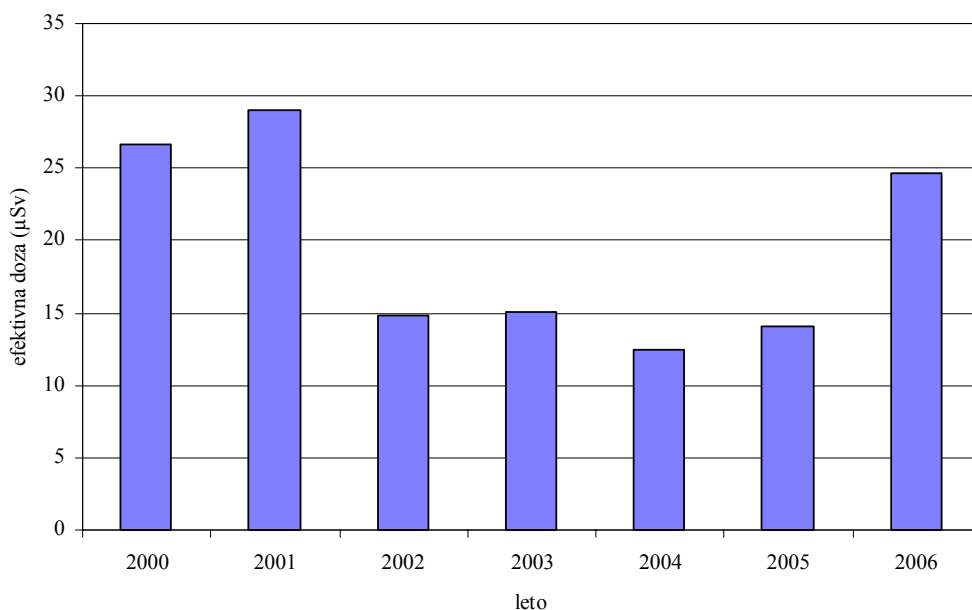
$$E_{(\text{ingestija ribe})} = 2,9 \mu\text{Sv}.$$

III.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:

$$E_{(\text{ingestija, voda})} = 24,7 \mu\text{Sv}.$$

Izračunana doza je podobna kot v preteklih letih (Slika 16).



Slika 16: Letne efektivne doze zaradi pitja vode (Brebovščica) iz okolice RŽV

III.3 DOZE ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA

III.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).

III.3.2 Radon-222 in radonovi potomci

Pri izračunu smo uporabili pretvorbene faktorje za zračno imerzijo po UNSCEAR 2000. Za radon v hišah je pretvorbeni faktor 0,01 $\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$, na prostem pa 0,25 $\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$. Upoštevali smo faktor slabitve sevanja zaradi stavbe, čas zadrževanja zunaj in znotraj stavb in faktor ravnotežja na prostem in v hišah. Prišteli smo tudi dozo zunanjega sevanja zaradi depozicije radonovih potomcev.

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

$$E = 1,9 \mu\text{Sv}.$$

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

$$E = 2,1 \mu\text{Sv}.$$

III.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 najneugodnejše možnosti in končna doza je največja doza, ki bi jo lahko dobil posameznik zaradi RŽV. Ocena je narejena za povprečnega odraslega posameznika iz kritične skupine ljudi v dolini Brebovščice. Posamezni prispevki k dozi po različnih prenosnih poteh so podani v tabeli (Tabela III-2). Za prispevke prenosnih poti, ki niso bile upoštevane v programu meritev za leto 2006 smo uporabili podatke za leto 2005.

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

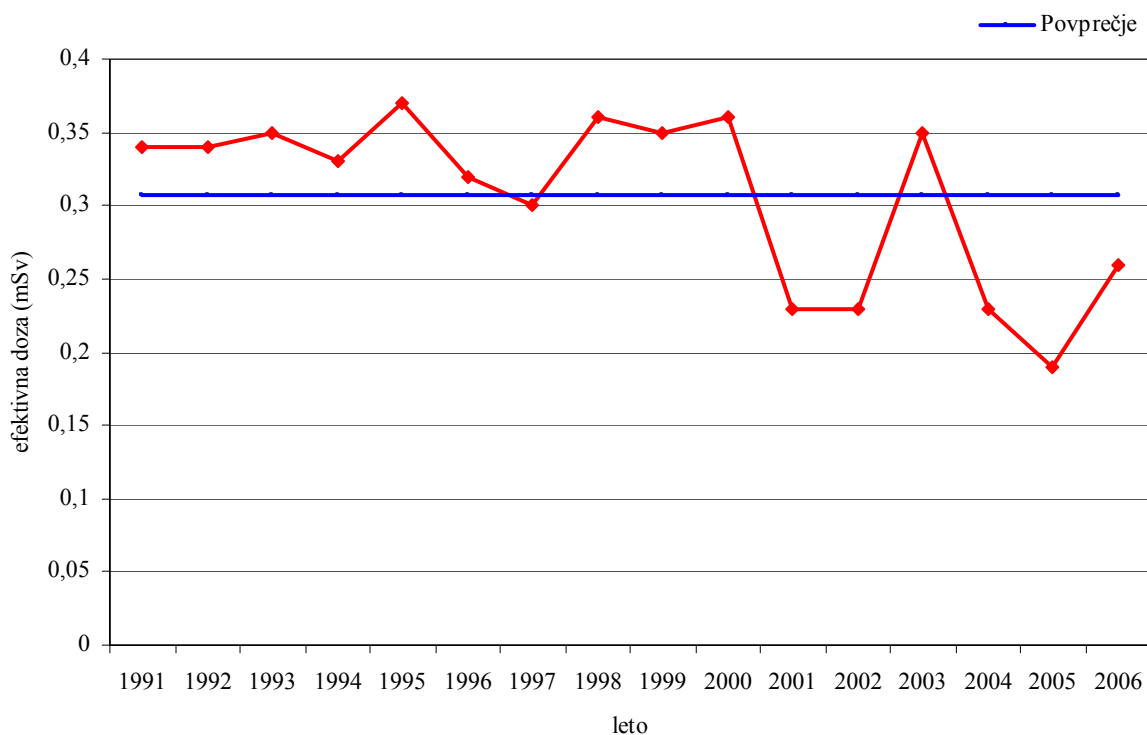
Prenosna pot	Pomembnejši radionuklidi	Letna efektivna doza (mSv)
Inhalacija	- aerosoli z dolgoživimi radionuklidi	0,001
	- samo Rn-222	0,006
	- Rn, kratkoživi potomci	0,208
Ingestija	- U, Ra-226, Pb-210, Th-230 v pitni vodi	(0,025)
	- ribe (Ra-226, Pb-210)	0,0029
	- kmetijski pridelki, hrana (Ra-226, Pb-210)	< 0,042
Zunanje sevanje	- γ sevanje Rn-222 in potomcev (depozicija, imerzija)	0,002
	- γ sevanje dolgoživih radionuklidov	-
	- γ sevanje v okolici odlagališč	0,002

Skupna letna efektivna doza zaradi rudnika urana v 2006 je:
(zaokroženo, prispevek vode ni upoštevan).

0,26 mSv

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 17). 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. Doza v letu 2003 je sicer večja, pripisujemo pa jo večjemu izhajanju radona zaradi vremenskih razmer. Podobna ugotovitev velja tudi za leto 2006, del prispevka pa gre pripisati tudi izvajanju del na odlagališču Jazbec



Slika 17: Skupne letne efektivne doze prebivalcev po letih zaradi vpliva RŽV

III.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.

Ocena je pokazala (poročilo IJS 1989), 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 2006 je 0,26 mSv, tako da je celotna letna doza za prebivalca v okolici RŽV 5,76 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 4,6 %.

IV. 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 2006 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 2006 potekale aktivnosti končne ureditve odlagališča (preurejanje površine, vgradnja končne prekrivke, sanacija propusta pod odlagališčem).

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 2006 smo povečanje ocenili na 8,0 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.

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.

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 do 9 krat 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 2006 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. 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 0,042 mSv (16,1 %). Prispevek je obremenjen z negotovostjo meritve, saj so koncentracije radionuklidov v hrani blizu meje detekcije.
7. K radioaktivnosti zemlje dodatno prispeva usedanje radioaktivnih prašnih delcev iz rudniških emisijskih virov. Vendar je že v času obratovanja rudnika ta prispevek znašal le 0,01% skupne radioaktivnosti vorni plasti tal. Po letu 1990 se je prispevek useda znižal skoraj za cel velikostni razred in s tem tudi kontaminacija zemlje.
8. Dodatno zunanje sevanje, ki izvira od virov RŽV je zelo majhno v primerjavi z naravnim ozadjem. Merljivo povečanje lahko opazimo le v neposredni bližini rudniških obratov in odlagališč, ne pa v širši poseljeni okolici. 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 2 μ Sv. Merljivi vpliv odlagališča Jazbec sega le do razdalje 10–30 metrov od odlagališča.

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

9. Celotno dozo, ki so jo prejeli posamezniki iz kritične skupine prebivalcev zaradi RŽV, smo v letu 2006 ocenili na 0,26 mSv. Razviden je trend upadanja doze po letu 2000. V letu 2006 so posledice rudarjenja in predelave uranove rude še vedno predstavljale dodatno izpostavljenost sevanju za okolišno prebivalstvo. Prejeta doza

(0,26 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.

V. REZULTATI MERITEV

V.1. ZRAK

Meritve radioaktivnosti aerosolov v okolju RŽV v letu 2006

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

Mesto vzorčenja: Todraž (MP)

IZOTOP	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
U-238	0,027 ± 0,007	0,012 ± 0,006	0,038 ± 0,007	0,017 ± 0,004
Ra-226	0,0061 ± 0,0024	0,0038 ± 0,0010	0,0088 ± 0,001	0,004 ± 0,001
Pb-210	0,64 ± 0,19	0,49 ± 0,16	0,50 ± 0,18	0,65 ± 0,21

Mesto vzorčenja: Gorenja Dobrava (MP)

IZOTOP	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
U-238	0,005 ± 0,003	0,008 ± 0,003	0,011 ± 0,005	0,006 ± 0,003
Ra-226	0,0026 ± 0,0005	0,0039 ± 0,0012	0,001 ± 0,0010	0,0066 ± 0,0011
Pb-210	0,44 ± 0,14	0,60 ± 0,22	0,61 ± 0,19	0,70 ± 0,21

Mesto vzorčenja: Debelo Brdo (MP)

IZOTOP	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
U-238	0,006 ± 0,005	0,014 ± 0,006	0,004 ± 0,003	0,007 ± 0,004
Ra-226	0,008 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,004 ± 0,001
Pb-210	0,54 ± 0,17	0,47 ± 0,00	0,57 ± 0,18	0,67 ± 0,21

V.1. ZRAK

Meritve radioaktivnosti aerosolov v okolju RŽV v letu 2006

Tabela V.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

IZOTOP	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
U-238	0,007 ± 0,004	0,032 ± 0,013	0,005 ± 0,004	0,006 ± 0,004
Ra-226	0,002 ± 0,001	0,006 ± 0,003	0,0084 ± 0,0009	0,005 ± 0,001
Pb-210	0,49 ± 0,16	0,56 ± 0,17	0,72 ± 0,20	0,69 ± 0,22

Mesto vzorčenja: Boršt (MP)

IZOTOP	1. četrletje mBq/m ³	2. četrletje mBq/m ³	3. četrletje mBq/m ³	4. četrletje mBq/m ³
U-238	0,009 ± 0,008	0,065 ± 0,013	0,005 ± 0,003	0,032 ± 0,010
Ra-226	0,0200 ± 0,0015	0,0220 ± 0,0016	0,0230 ± 0,0016	0,005 ± 0,004
Pb-210	0,54 ± 0,17	0,53 ± 0,17	0,61 ± 0,19	0,93 ± 0,29

V.1. ZRAK

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

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

Merilno mesto	Koncentracija (Bq/m ³)				
	1. četrletje	2. četrletje	3. četrletje	4. četrletje	letno povprečje
DOLINA BREBOVŠČICE					
Brebovnica	28 ± 3	22 ± 3	27 ± 3	det. izgubljen	26 ± 3
Transportni trak	80 ± 7	39 ± 4	41 ± 4	31 ± 4	48 ± 6
Todraž (MP)	35 ± 4	28 ± 3	29 ± 3	23 ± 4	29 ± 4
Gorenja Dobrava (MP T.)	34 ± 4	24 ± 3	33,7 ± 4	17 ± 3	27 ± 4
Dolenja Dobrava (B. J.)	28 ± 3	19 ± 3	27 ± 4	14 ± 3	22 ± 4
Gorenja vas (MP, Brencce)	32 ± 3	11 ± 2	24 ± 3	10 ± 2	19 ± 3
ZVD- Ljubljana*	25 ± 3	17 ± 3	33 ± 4	15 ± 3	23 ± 4
DOLINA TODRAŠČICE					
Bačenski mlin	33 ± 3	32 ± 4	22 ± 3	37 ± 5	31 ± 4
JALOVIŠČI JAZBEC IN BORŠT					
Jazbec - zračna črpalka	119 ± 10	38 ± 4	175 ± 10	48 ± 6	95 ± 9
Boršt - zračna črpalka	45 ± 4	28 ± 3	66 ± 6	30 ± 4	42 ± 5

* primerjalna lokacija

V.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: 2006

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

Datum merjenja		06.06. - 08.06.	24.10.-26.10.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Jazbec-hiša Podlešan	550	11 ± 2	5 ± 1
Jazbec, zgornji rob brežine	512	29 ± 5	8 ± 1
Jazbec, plato pred P-11	496	19 ± 3	24 ± 4
Brebovnica	446	16 ± 3	18 ± 3
Jazbec, MP spodaj	430	24 ± 4	17 ± 3
Transportni trak	422	11 ± 2	18 ± 3
Todraž (MP)	411	16 ± 3	13 ± 2
Gorenja Dobrava (MP Tavčar)	405	14 ± 2	15 ± 2
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	11 ± 2	14 ± 2
Gorenja vas (MP, Brence)	402	12 ± 2	9 ± 1
<i>ZVD - Ljubljana</i>	<i>300</i>	<i>11 ± 2</i>	<i>3 ± 1</i>

V.1 ZRAK

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

Prerez v profilu jalovišča Boršt in doline Todraščice

Leto: 2006

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

Datum merjenja		06.06. - 08.06.	24.10.-26.10.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	12 ± 2	10 ± 2
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	25 ± 4	13 ± 2
Boršt-kozolci pod jaloviščem	533	21 ± 3	11 ± 2
Boršt-pri Potokarju	485	11 ± 2	20 ± 3
Debelo brdo (MP)	575	7 ± 1	4 ± 1
Bačenski mlin (MP)	457	13 ± 2	36 ± 6
Todraž (MP)	411	16 ± 3	13 ± 2
Gorenja Dobrava (MP)	405	14 ± 2	15 ± 2
Dolenja Dobrava (Bogataj J.)	403	11 ± 2	14 ± 2
Gorenja vas (MP, Brence)	402	12 ± 2	9 ± 1
<i>ZVD - Ljubljana</i>	<i>300</i>	<i>11 ± 2</i>	<i>3 ± 1</i>

V.1 ZRAK

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

Prerez v profilu odlagališča Jazbec

Leto: 2006

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

Datum merjenja		06.06. - 08.06.	24.10.-26.10.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Jazbec, zgornji rob brežine	512	29 ± 5	8 ± 1
Jazbec, plato pred P-11	496	19 ± 3	24 ± 4
Jazbec, MP spodaj	430	24 ± 4	17 ± 3
Transportni trak	422	11 ± 2	18 ± 3
Gorenja vas (MP, Brencce)	402	12 ± 2	3 ± 1

V.1 ZRAK

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

Prerez v profilu odlagališča Boršt

Leto: 2006

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

Datum merjenja		06.06. - 08.06.	24.10.-26.10.
Merilno mesto	Nad. viš. m	koncentracija Bq/m ³	koncentracija Bq/m ³
Boršt - ob cesti nad jaloviščem	585	12 ± 2	10 ± 2
Boršt - ob spodnjem robu jalovišča	537	25 ± 4	13 ± 2
Boršt-kozolci pod jaloviščem	533	21 ± 3	11 ± 2
Boršt-pri Potokarju	485	11 ± 2	20 ± 3
Gorenja vas	402	12 ± 2	3 ± 1

V.2 VODA

Tabela V.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 2006

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	202 ± 8	0,27	53 ± 3	0,03
Februar	274 ± 19	0,66	64 ± 4	0,09
Marec	163 ± 11	1,50	40 ± 2	0,18
April	139 ± 7	0,83	57 ± 3	0,09
Maj	249 ± 12	0,60	100 ± 5	0,07
Junij	151 ± 8	0,29	33 ± 2	0,04
Julij	334 ± 20	0,05	27 ± 3	0,00
Avgust	263 ± 9	0,22	77 ± 4	0,01
September	272 ± 14	0,28	36 ± 2	0,03
Oktober	315 ± 16	0,09	73 ± 3	0,01
November	290 ± 16	0,12	212 ± 14	0,01
December	153 ± 8	0,55	78 ± 4	0,05
Povprečje	234 ± 13	0,45	71 ± 5	0,05

V.2 VODA

Tabela V.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 2006

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	8,1 ± 0,6	0,27	3 ± 0,4	0,03
Februar	7,4 ± 0,6	0,66	5,8 ± 0,4	0,09
Marec	2,5 ± 0,4	1,50	3,8 ± 0,4	0,18
April	9,7 ± 0,7	0,83	17,1 ± 0,9	0,09
Maj	4,4 ± 0,4	0,60	7,1 ± 0,6	0,07
Junij	5,8 ± 0,5	0,29	7,2 ± 0,5	0,04
Julij	5,8 ± 0,5	0,05	5,2 ± 0,5	0,00
Avgust	7,8 ± 0,6	0,22	10,7 ± 0,8	0,01
September	6,3 ± 0,5	0,28	6,1 ± 0,6	0,03
Oktober	6,5 ± 0,6	0,09	11,4 ± 0,8	0,01
November	6,6 ± 0,6	0,12	20,3 ± 1	0,01
December	6,7 ± 0,5	0,55	9 ± 0,8	0,05
Povprečje	6,5 ± 0,6	0,45	8,9 ± 0,7	0,05

V.2 VODA

Tabela V.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 2006

MESEC	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
Januar	5,2 ± 1,6	0,27		0,03
Februar	6,3 ± 1,9	0,66		0,09
Marec	12,1 ± 2,8	1,50		0,18
April	17,0 ± 2,7	0,83		0,09
Maj	1,5 ± 1,0	0,60		0,07
Junij	2,4 ± 2,0	0,29		0,04
Julij	3,9 ± 2,3	0,05		0,00
Avgust	54,8 ± 3,0	0,22		0,01
September	1,8 ± 2,1	0,28		0,03
Oktober	4,4 ± 1,1	0,09		0,01
November	11,2 ± 1,3	0,12		0,01
December	3,0 ± 1,1	0,55		0,05
I. kvartal			2,4 ± 0,5	0,10
II. kvartal			2,5 ± 0,7	0,06
III. kvartal			1,4 ± 1	0,02
IV. kvartal			2,1 ± 0,7	0,02
Povprečje	10,3 ± 2	0,45	2,1 ± 0,4	0,05

V.2 VODA

Tabela V.2.4 Koncentracija raztopljenega Po-210 v Brebovščici v Gorenji Dobravi ter povprečni četrtletni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2006

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	5,7 ± 3,1	0,81		0,10
II. kvartal	8,3 ± 4,9	0,57		0,06
III. kvartal	7,1 ± 4,0	0,18		0,02
IV. kvartal	6,6 ± 3,9	0,25		0,02
Povprečje	6,9 ± 2,3	0,45		0,05

Tabela V.2.5 Koncentracija raztopljenega Th-230 v Brebovščici v Gorenji Dobravi ter povprečni četrtletni pretok Brebovščice in Todraščice v letu 2006

	BREBOVŠČICA PO		TODRAŠČICA PO	
	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)	Koncentracija (Bq/m ³)	Pretok (m ³ /s)
I. kvartal	5,6 ± 0,7	0,81		0,10
II. kvartal	1,6 ± 0,2	0,57		0,06
III. kvartal	0,40 ± 0,04	0,18		0,02
IV. kvartal	0,50 ± 0,05	0,25		0,02
Povprečje	2,0 ± 0,2	0,45		0,05

V.2 VODA

Meritve radioaktivnosti podtalnice v okolju RŽV

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

Oznaka vrtine	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Todraž			
BS 30	18 ± 2	1,9 ± 1,0	4,7 ± 0,3
Mrzlek	380 ± 20	2,8 ± 1,3	4,6 ± 0,3

Vodnjaki	Koncentracija		
	U-238 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/m ³)	Pb-210 (Bq/m ³)
Dolenja Dobrava			
Dermota	24 ± 2	2,6 ± 1,3	3,3 ± 0,3

V.3 SEDIMENTI

Lokacija: Brebovščica po

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

Rezultati so podani v Bq/kg suhega, presejanega vzorca

IZOTOP	1. polletje Bq/kg	2. polletje Bq/kg
U-238	68 ± 5	73 ± 7
Ra-226	76 ± 5	85 ± 6
Pb-210	67 ± 5	79 ± 10
Th-230	44 ± 20	< 100

V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.1 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)	Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
A 1	0,51	A 11	0,15
A 2	0,42	A 12	0,15
A 3	0,39	A 13	0,17
A 4	0,20	A 14	0,22
A 5	0,22	A 15	0,22
A 6	0,17	A 16	0,21
A 7	0,20	A 17	0,20
A 8	0,18	A 18	0,19
A 9	0,19	A 19	0,20
A 10	0,19		
B 1	0,35	B 14	0,12
B 2	0,43	B 15	0,13
B 3	0,20	B 16	0,12
B 4	0,15	B 17	0,12
B 5	0,14	B 18	0,12
B 6	0,14	B 19	0,13
B 7	0,15	B 20	0,12
B 8	0,14	B 21	0,12
B 9	0,16	B 22	0,11
B 10	0,15	B 23	0,12
B 11	0,15	B 24	0,11
B 12	0,15	B 25	0,12
B 13	0,13		

V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.1 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)	Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
C 1	0,40	C 11	0,16
C 2	0,20	C 12	0,12
C 3	0,20	C 13	0,13
C 4	0,57	C 14	0,14
C 5	0,27	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		

V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.1 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

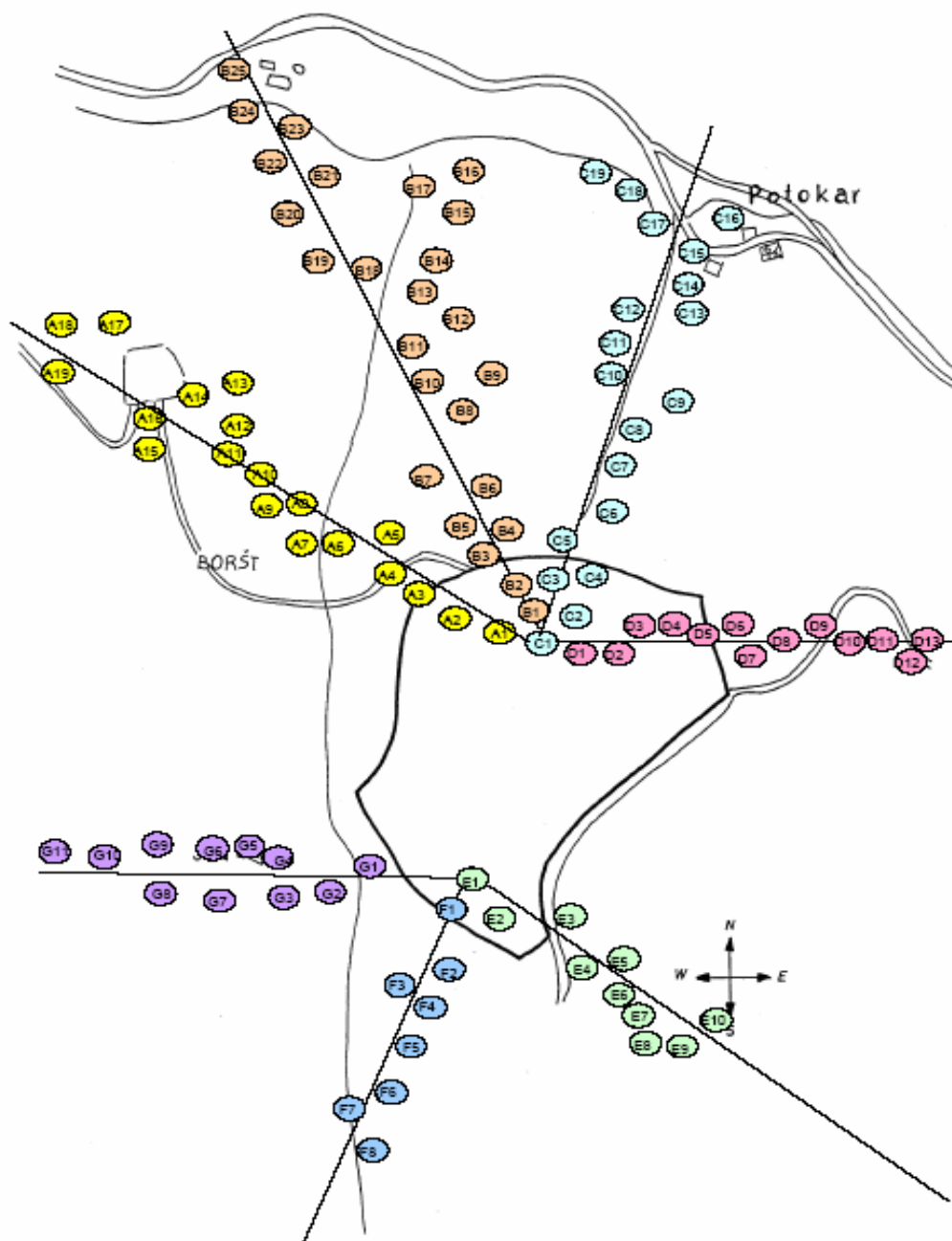
Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)	Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
D 1	0,26	E 1	0,30
D 2	0,17	E 2	0,20
D 3	0,20	E 3	0,13
D 4	0,20	E 4	0,13
D 5	0,25	E 5	0,13
D 6	0,17	E 6	0,12
D 7	0,20	E 7	0,12
D 8	0,12	E 8	0,12
D 9	0,12	E 9	0,11
D 10	0,25	E 10	0,11
D 11	0,20		
D 12	0,12		
D 13	0,15		
F 1	0,20		
F 2	0,12		
F 3	0,12		
F 4	0,13		
F 5	0,13		
F 6	0,12		
F 7	0,13		
F 8	0,13		

V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.1 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Boršt

Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
G 1	0,20
G 2	0,16
G 3	0,18
G 4	0,18
G 5	0,14
G 6	0,15
G 7	0,14
G 8	0,14
G 9	0,13
G 10	0,13
G 11	0,14
G 12	0,13
G 13	0,13
G 14	0,13

Odlagalište Boršt



V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Jazbec

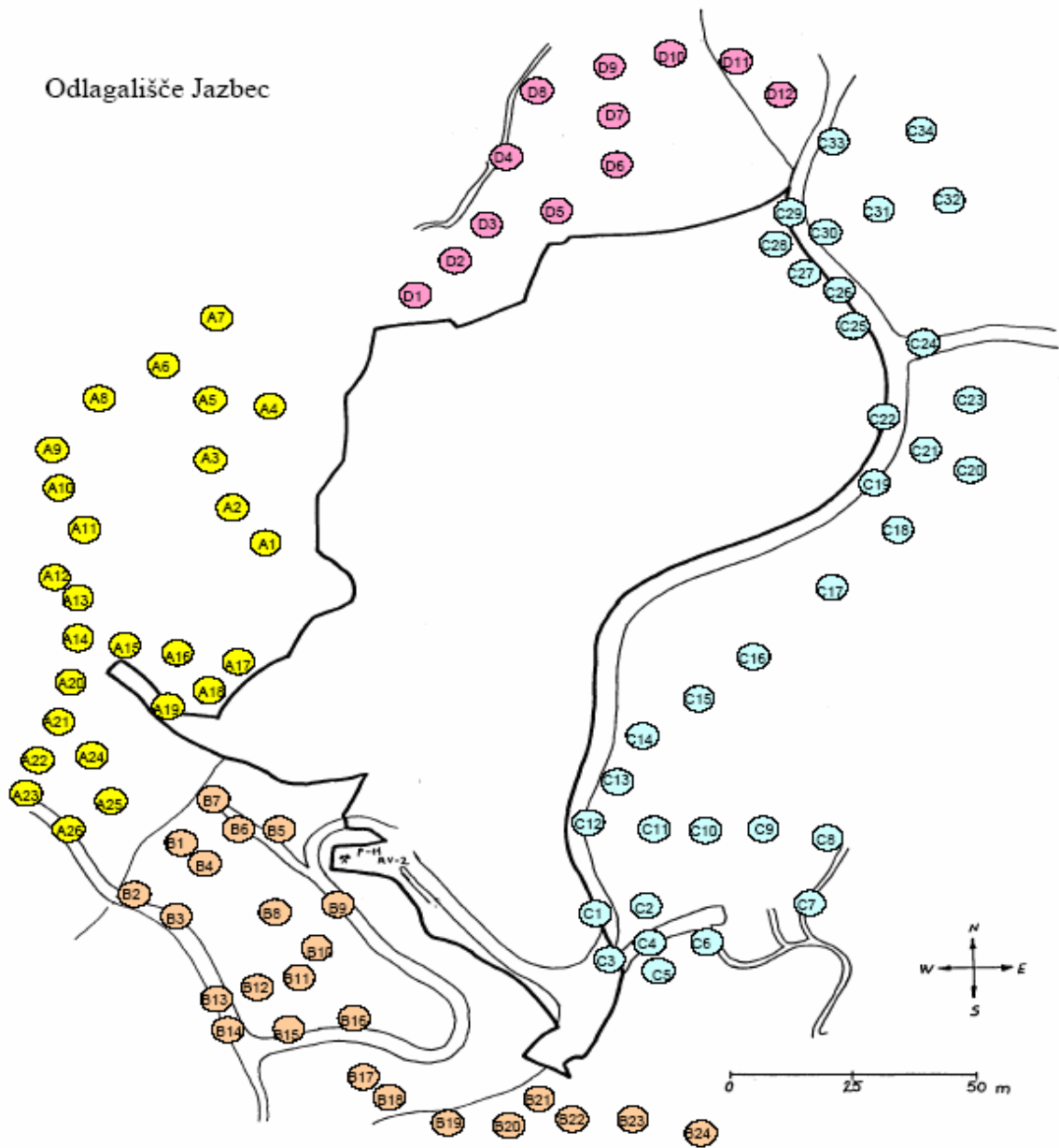
Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)	Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
A 1	0,13	A 14	0,12
A 2	0,12	A 15	0,11
A 3	0,10	A 16	0,10
A 4	0,12	A 17	0,15
A 5	0,10	A 18	0,13
A 6	0,11	A 19	0,22
A 7	0,11	A 20	0,12
A 8	0,10	A 21	0,12
A 9	0,10	A 22	0,11
A 10	0,11	A 23	0,13
A 11	0,10	A 24	0,13
A 12	0,11	A 25	0,14
A 13	0,12	A 26	0,11
B 1	0,12	B 13	0,12
B 2	0,10	B 14	0,12
B 3	0,07	B 15	0,11
B 4	0,11	B 16	0,12
B 5	0,11	B 17	0,14
B 6	0,12	B 18	0,12
B 7	0,11	B 19	0,12
B 8	0,17	B 20	0,11
B 9	0,25	B 21	0,10
B 10	0,15	B 22	0,11
B 11	0,10	B 23	0,10
B 12	0,15	B 24	0,1

V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

V.4.2 Zunanje sevanje gama v okolici odlagališča Jazbec

Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)	Točka merjenja	Hitrost absorbirane doze v zraku ($\mu\text{Gy/h}$)
C 1	0,23	C 18	0,13
C 2	0,51	C 19	0,14
C 3	0,22	C 20	0,13
C 4	0,23	C 21	0,12
C 5	0,66	C 22	0,13
C 6	0,30	C 23	0,13
C 7	0,14	C 24	0,14
C 8	0,11	C 25	0,15
C 9	0,12	C 26	0,12
C 10	0,14	C 27	0,14
C 11	0,13	C 28	0,14
C 12	0,13	C 29	0,15
C 13	0,13	C 30	0,14
C 14	0,13	C 31	0,15
C 15	0,12	C 32	0,13
C 16	0,12	C 33	0,14
C 17	0,11	C 34	0,13
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



V.4. ZUNANJE SEVANJE GAMA

Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

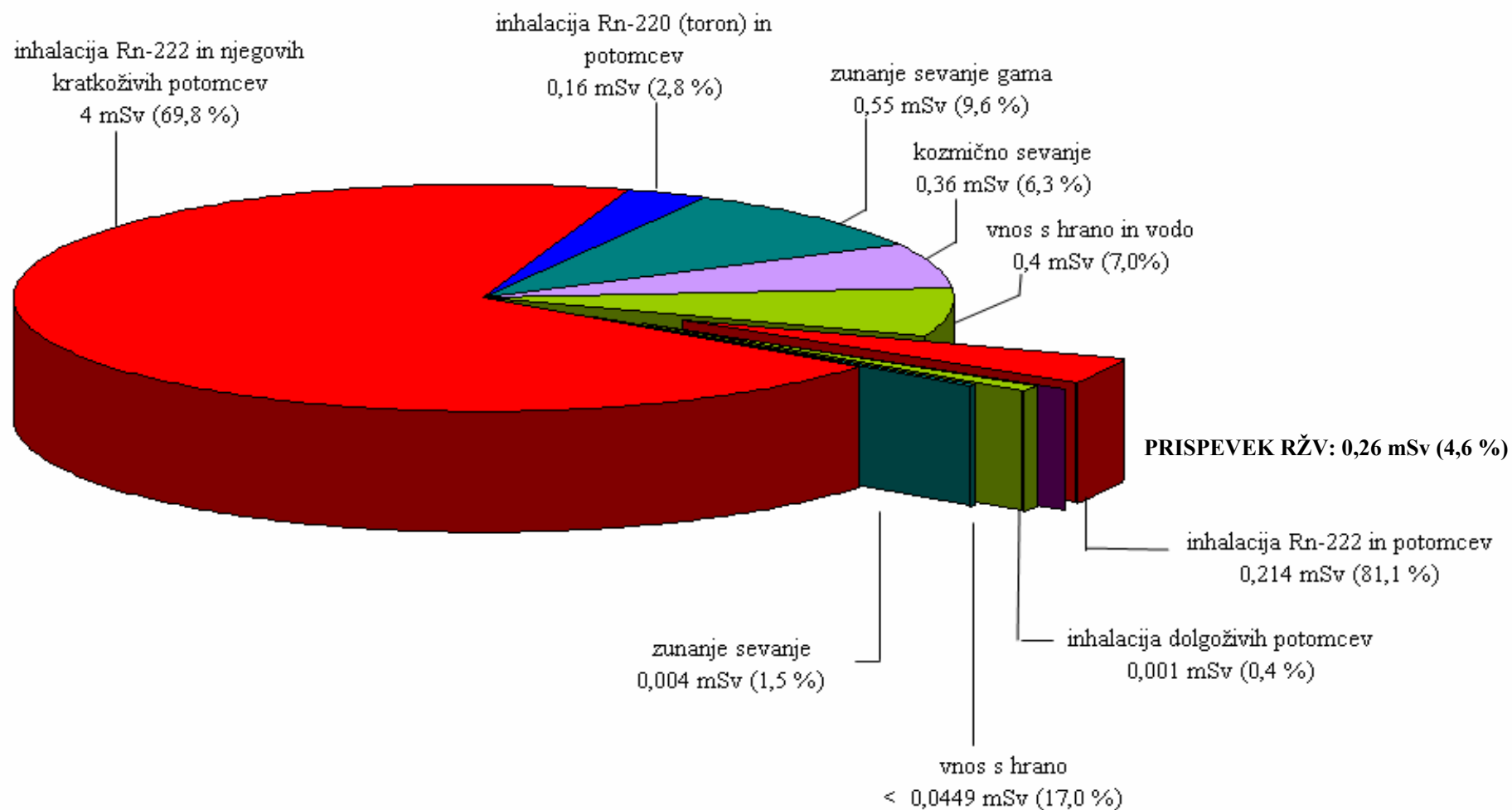
Merjeno s termoluminiscentnimi dozimetri

Tabela V.4.3 Kvartalne doze zunanjega sevanja gama v okolici RŽV

Rezultati so podani v mSv

	1. kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4. kvartal	letna doza
Todraž	0,150	0,197	0,203	0,187	0,737
Jazbec	0,361	0,261	0,231	0,212	1,064
Boršt	0,233	0,334	0,397	0,368	1,331

NARAVNO OZADJE: 5,5 mSv (95,4 %)



* prikaz ne vključuje doze zaradi medicinske uporabe sevanja in černobilske kontaminacije

VI. LITERATURA

1. Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources, ICRP Publication 15, 1970, Pergamon Press, New York.
2. Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15, ICRP Publication 21, 1971, Pergamon Press, New York.
3. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: Part 1, 1978, Pergamon Press, New York.
4. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters, ICRP Publication 50, 1986, Pergamon Press, Oxford.
5. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication 56, 1989, Pergamon Press, Oxford.
6. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1991, Pergamon Press, Oxford.
7. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, ICRP Publication 67, 1993, Pergamon Press, Oxford.
8. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 69, 1995, Pergamon Press, Oxford.
9. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 71, 1995, Pergamon Press, Oxford.
10. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115-I, IAEA, Dunaj, 1994.
11. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, 1996.
12. W. Jacobi, K. Eisfeld: Dose to Tissues and Effective Dose Equivalent by Inhalation of Radon-222, Radon-220 and their Short-Lived Daughters, GSF Report S-626, Munchen, 1980.
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Report of the General Assembly, UN, New York, 1988.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 1990.
15. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Sources of Radiation, Dunaj, 2000.
16. Pravilnik o mejah, ki jih ne sme presegati sevanje, ki so mu izpostavljeni prebivalstvo in tisti, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj, o merjenju stopnje izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem oseb, ki delajo z viri the sevanj in o preskušanju kontaminacije delovnega okolja, Uradni list SFRJ 31/89.
17. Pravilnik o največjih mejah radioaktivne kontaminacije človekovega okolja in o dekontaminaciji, Uradni list SFRJ, 8/87.
18. Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, 115/2003.
19. A. P. Florjančič, Rudnik urana Žirovski vrh, Didakta, Radovljica, 2000.
20. M. Križman, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letna poročila IJS 1990-1995.
21. G. Omahen, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, letno poročilo ZVD Zavoda za varstvo pri delu 1996 – 1999.
22. L. Benedik, Meritve radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh in ocena vplivov na okolje, rezultati za leto 2000, letno poročilo IJS-DP-8036, 2001.

23. L. Benedik, G. Omahen, Nadzor radioaktivnosti v okolju rudnika urana Žirovski vrh med izvajanjem programa trajnega prenehanja izkoriščanja uranove rude in ocena vplivov na okolje, letno poročilo, 2002- 2005.
24. G. Omahen, P. Jovanovič, ZVD Zavod za varstvo pri delu, Radioaktivnost v življenjskem okolju R Slovenije v letu 1999-2005.
25. K. Južnič, I. Kobal, Radiochemical determination of Po-210 and Pb-210 in water, J.Radioanal. Nucl. Chem., Articles 102 (2), 1986.
26. B. Smodiš, Z. Planinšek, Radiokemijsko določanje Pb-210 v vzorcih okolja, IJS, Delovno poročilo IJS DP-4489, 1986.
27. 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.
28. Eichrom Technologies, Inc., ACW10, Analytical Procedures Rev. 1.0, May11, 1999.
29. U. Repinc Development of a method for determination of ^{226}Ra by liquid scintillation counting (LSC), Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 254 (2002), 181-185.
30. P. Vreček, L. Benedik, Determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in sediments, water, and plants in an area contaminated with mine waste, Mine water and the environment, 21 (2002), 156-159.