

**ZVD Delovno poročilo
ZVD-DP-1003/98**

**Specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v
termalnih vodah zdravilišč in v vstekleničenih
mineralnih pitnih vodah**

Ljubljana, marec 1997

Zavod R Slovenije za varstvo pri delu, Ljubljana

Ljubljana, 31.3.1998

**Specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v termalnih vodah
zdravilišč in v vstekleničenih mineralnih pitnih vodah**

Naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor
Uprava RS za jedrsko varnost
Pogodba št. 2513/96-000012 , z dne 29.10.1996

Izvajalec: Zavod RS za varstvo pri delu

Nosilec: mag. Miran Kanduč, dipl. inž. fiz.

**Ovrednotenje meritev in
urejanje poročila:** Peter Jovanovič, inž. fiz.

1. Uvod

Na našem tržišču se v zadnjem času pojavlja vse več vstekleničenih mineralnih in naravnih pitnih voda, katerih poraba je iz leta v leto večja. Prav tako se v nekaterih zdraviliščih s termalnimi vreli uporabljajo termalne vode za pitje, bodisi za žejo ali v zdravstvene namene. Vode črpajo iz velikih globin (od nekaj 100 m do preko 1000 m), zato je pričakovati višje vsebnosti dolgoživih radioaktivnih izotopov kot U, ^{226}Ra , ^{210}Pb .

Po priporočilih Mednarodne zdravstvene organizacije (WHO), ki se jih drži večina evropskih držav, letna prejeta doza zaradi vnašanja radionuklidov s pitno vodo ne sme presegati 50 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ za posamezni radionuklid (1). V Nemčiji so postavili mejo na 500 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ za vsoto vseh radionuklidov (2), v ZDA je EPA postavila mejno vrednost na 560 mBq/l (3) in v Švici celo 1Bq/l za vsoto vseh naravnih sevalcev alfa v pitni vodi.

Pri nas letni vnos za posameznika iz prebivalstva ne sme presegati 1/10 meje letnega vnosa za osebe, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj oziroma 1/50 meje letnega vnosa za osebe, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj, če vnašajo nuklide več let (4). Po drugi strani pa Pravilnik Z2 (5) predpisuje, da je potrebno pri določanju posamičnih specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih, ki vsebujejo več pomembnih radionuklidov, doseči take meje merjenja, da se lahko oceni 1/30 avtorizirane meje za posamezne radionuklide, kar pomeni za posameznike iz prebivalstva cca 30 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ za posamezni radionuklid (če upoštevamo 10 radionuklidov). Izvedene koncentracije za pitno vodo za skupine posameznikov iz prebivalstva se izrazijo z mejo letnega vnosa na m^3 (1 m^3 je povprečni letni vnos vode v organizem na prebivalca). V Pravilniku Z9 (4) so navedene izvedene koncentracije za pitno vodo.

2. Cilji raziskave

Z meritvami specifičnih aktivnosti sevanja gama naravnih radioaktivnih izotopov v vstekleničenih vodah in v vodah omenjenih zdravilišč smo ugotovili stanje kontaminiranosti teh voda z naravnimi radioaktivnimi izotopi, obenem pa smo rezultate uporabili pri oceni prejeete doze za prebivalce zaradi pitja teh voda.

3. Merilne metode

Meritve smo opravljali z detektorji iz čistega germanija (HPGe) za visokoločljivo spektrometrijo gama. Detektorji so umerjeni za različne geometrije in matrice. Umerjanja opravljamo vsako leto po programu QA/QC s standardi, ki jih nabavimo v mednarodno priznanih primarnih laboratorijih (Praga), z referenčnimi in interkalibracijskimi vzorci, ki jih dobimo od Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA, laboratorij v Seibersdorfu) ter interno z inštitucijami, s katerimi sodelujemo pri izvajanju programa nadzora nad radioaktivnostjo v okolju v R Sloveniji.

Predpostavili smo, da so izotopi v uranovi razpadni verigi od ^{238}U do ^{234}U v ravnovesju. Naravni uran, ^{238}U , smo določali preko dveh torijevih črt, ^{234}Th , z energijama 63.3 keV in 92.6 keV. Ker smo vzorce starali tri tedne, smo predpostavili, da je radij v ravnovesju z radonovimi potomci. Tako smo ^{226}Ra določili preko karakterističnih črt ^{214}Pb in ^{214}Bi , 295.4 keV, 352 keV in 609.4 keV, istočasno pa tudi s črtama 185.7 keV in 186 keV za ^{235}U in ^{226}Ra , zapovrstjo.

Meritve smo opravili na enkratno odvzetih vzorcih voda. Vzorčili smo 20 do 25 L vode. Vzorce voda smo izparili na dva načina in sicer v digestoriju pod infrardečo žarnico pri temperaturi 60 °C ali z mikrovalovno laboratorijsko postajo z mikroprocesorskim kontrolnim terminalom Model 240. Frekvenca mikrovalov je bila 2450 Mhz (12.25 cm), tlak v 10 L posodi pa v območju od 300 - 900 mbarov. Sušino smo prenesli v aluminijaste planšete s premerom 2 cm, posušili pri sobni temperaturi, pokrili in zalepili, da ne bi uhajal radon, ki nastaja pri razpadu radija. Planšete smo starali tri tedne, da je prišlo do ravnovesja med radonom in radijem.

4. Rezultati

Opravili smo meritve specifičnih aktivnosti naravnih radioaktivnih izotopov v vodah zdravilišč s termalnimi vreli in v vstekleničenih mineralnih in naravnih pitnih vodah (Tabela 1).

Tabela 1. Seznam termalnih zdravilišč in pitnih vod, v vzorcih katerih so bile določene vsebnosti naravnih radioaktivnih izotopov

- A. Zdravilišča
 1. Zdravilišče Laško
 2. Zdravilišče Atomske Toplice
 3. Zdravilišče Rogaška
 4. Terme Zreče
 5. Terme Čatež
 6. Terme Snovik v Tuhinjski dolini
 7. Dolenjske Toplice
 8. Šmarješke Toplice
 9. Moravske Toplice
 10. Zdravilišče Dobrna
 11. Rimske Toplice

- B. Vstekleničene mineralne in naravne pitne vode
 1. Mineralne vode
 - a. Kraljevi vrelec
 - b. Miral
 - c. Petnajski vrelec
 - d. Radin
 5. Tempel
 - f. Donat
 - g. Vrtina V3/66-70 (ta Donat)
 8. Vrtina G10/95 (za Tempel)
 2. Naravne pitne vode
 1. Zala
 - b. Izvir

Rezultati meritev specifičnih aktivnosti naravnih radioaktivnih izotopov so prikazani v tabelah 3 in 4.

Tabela 3. Specifične aktivnosti naravnih radioaktivnih izotopov v vzorcih termalnih vod (Bq/m³)

Termalne kopeli	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th	⁴⁰ K
Atomske Toplice	20 ± 6	86 ± 5	17 ± 8	64 ± 20	62 ± 20
Zdravilišče Laško	6 ± 4	26 ± 8			50.9 ± 20
Terme Zreče	<5			<5	46 ± 12
Zdravilišče Rogaška	<5	8 ± 5	<5		28 ± 12
Terme Čatež	7 ± 5	24 ± 4		15 ± 4	110 ± 17
Terme Snovik	6 ± 5	20 ± 9	4 ± 3		36 ± 10
Rimske Toplice	26 ± 10	145 ± 4	<5	<5	51 ± 15
Zdravilišče Dobrna	<4	13 ± 5	8 ± 5		24 ± 16
Šmarješke Toplice	<5	7 ± 5	17 ± 9	<5	25 ± 18
Moravske Toplice		590 ± 15		327 ± 16	4979 ± 68
Dolenjske Toplice	<6	105 ± 4		5 ± 3	51 ± 17

V vzorcih termalnih vod (Tabela 3) izstopajo Moravske Toplice, kjer je bilo izmerjeno 590 Bq/m³, ²²⁶Ra, 327 Bq/m³ ²³²Th in 4979 Bq/m³ ⁴⁰K. V ostalih termalnih vodah so bile izmerjene vsebnosti ⁴⁰K med 24 - 110 Bq/m³ in ²²⁶Ra med 7 - 145 Bq/m³. Vsebnosti ²³²Th smo določili v Atomskih Toplicah in Termah Čatež, 64 Bq/m³ in 15 Bq/m³, zapovrstjo. V Atomskih Toplicah in Šmarjeških Toplicah je bil izmerjen ²¹⁰Pb in sicer 17 Bq/m³ v obeh vzorcih vod. Opazne vrednosti ²³⁸U so bile določene v Atomskih Toplicah in V Rimskih Toplicah, 20 Bq/m³ in 26 Bq/m³, zapovrstjo.

Tabela 4. Specifične aktivnosti naravnih radioaktivnih izotopov v vzorcih mineralnih in naravnih pitnih vod (Bq/m³)

Pitne vode	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th	⁴⁰ K	⁷ Be
Kraljevi vrelec	10 ± 7	130 ± 7		114±11	1487±46	
Miral		68 ± 7	32±20	100±12	1289±44	23±14
Petanjski vrelec		34 ± 10	15±8	84±11	1132±54	34±14
Radin		48 ± 9	46±17	52±11	304±36	37±14
Tempel (iz plast.)		16 ± 4	33±12	6±4	28±15	290±34
Tempel (iz linije)		<6	26±10	10±4	21±15	
Tempel (G10/95)		19 ± 12		66±13	732± 65	
Donat (iz linije)				39±24	508±88	
Donat (V3/66-70)	335±100	148±42		280±35	710±122	
Zala		22 ± 4	10±6	7±5		12±7
Izvir				13±7	42±26	

V vzorcih mineralnih in naravnih pitnih vod so bile izmerjene visoke vrednosti ⁴⁰K in ²³²Th v vzorcih mineralnih vod iz Radencev, Kraljevem vrelcu, Miralu, Petanjskem vrelcu in Radinu (Tabela 4). V mineralnih vodah Kraljevi vrelec in Miral so tudi višje vsebnosti ²²⁶Ra. V vseh vzorcih mineralnih vod so bile izmerjene specifične aktivnosti ⁷Be, ki se kopiči v vodah med tehnološkim pridobivanjem zaradi prepihovanja z zunanjim zrakom.

Vzorci mineralnih pitnih vod iz Rogaške smo vzorčili direktno na vrtini, na polnilni liniji iz betonskih zbiralnih bazenov in iz plastenek. V vzorcih Tempel iz vrtine G10/95 in Donat iz vrtine V3/66-70 je bila izmerjena specifična aktivnost ²³²Th 66 Bq/m³ in 280 Bq/m³ ter ⁴⁰K 723 Bq/m³ in 710 Bq/m³, zapovrstjo.

V obeh vzorcih smo določili tudi ²²⁶Ra in sicer 16Bq/m³ in 148 Bq/m³, zapovrstjo. Med tehnološkim procesom pridobivanja in polnjenja mineralne vode Tempel se zmanjša vsebnost ²³²Th in ⁴⁰K, pridobi pa se ²¹⁰Pb in ⁷Be. Za ⁷Be velja enaka razlaga kot v primeru Radenske, izotop svinca, ²¹⁰Pb, pa se očitno izloča iz sten zbiralnih bazenov, od koder pride z mineralno vodo v plastenke.

Mineralno vodo Donat smo vzorčili na vrtini in na polnilni liniji (iztok iz zbiralnega bazena), nismo pa vzorčili plastenek. Zanimiva je visoka vsebnost ²³⁸U, 335 Bq/m³ in ²²⁶Ra, 148 Bq/m³ v vrtini, ki se izgubita že na poti do zbiralnega bazena. Vsebnost ²³²Th se na tej poti zniža za približno 7-krat. Vzroka za znižanje sta dva, prvi je približno 10 km dolga pot od vrtine do

polnilne linije, drugi pa dodatni zbiralni bazen približno 1 km pred polnilno linijo, v katerem se voda filtrira.

5. Ocena prejetih doz zaradi uživanja mineralnih in termalnih vod

Efektivne doze zaradi uživanja termalnih in mineralnih vod smo ocenili na osnovi veljavne zakonodaje in na osnovi International Basic Safety Standards (6), ki bo osnova za novo zakonodajo na področju varstva pred sevanji, ki je trenutno v izdelavi. V Pravilniku o največjih mejah radioaktivne kontaminacije človekovega okolja in o dekontaminaciji, (Z9, Ur. List SFRJ 8/87), so navedene izvedene koncentracije za posamezne radioaktivne izotope za pitno vodo, ki jih lahko vnesemo v organizem, če je povprečni letni vnos 1000 L vode na prebivalca. V tabeli 5 so predstavljene izvedene koncentracije (IK) in procent doseženih vrednosti za termalne in mineralne pitne vode za radionuklide, katerih vsebnosti so bile določene v izmerjenih vzorcih vod.

Tabela 5. Izvedene koncentracije in % doseženih vrednosti

Izotop	IK (Bq/m ³)	Termalne vode Območje vrednosti (%)	Mineralne pitne vode območje vrednosti (%)
⁷ Be	4e+07		0.000025 - 0.00075
⁴⁰ K	2e+05	0.05 - 2.5	0.01 - 0.75
²¹⁰ Pb	4e+02	1.25 - 5	2.5 - 12.5
²²⁶ Ra	1e+03	1 - 60	1.5 - 15
²³² Th	6e+02	2.5 - 55	0.8 - 50
²³⁸ U	1e+04	0.05 - 0.25	0.1 - 3.5

Če izvzamemo termalno vodo iz Moravskih Toplic, potem uživanje termalnih voda prinese le nekaj procentov dovoljene doze zaradi vsebnosti radioaktivnih izotopov. V primeru mineralnih pitnih vod največ prispeva k dozi ²³²Th in sicer kar 50 %, v primeru, da bi v enem letu popili 1000 L Donata iz vrtine. Bolj realne so vrednosti zaradi ²³²Th, ²¹⁰Pb in ²²⁶Ra v vstekleničenih vodah, ki ob enaki akumulaciji prispevajo 17 %, 12 % in 15 % k dovoljeni letni dozi.

Na podlagi doznih pretvorbenih faktorjev, privzetih po BSS-115, smo ocenili prejete efektivne doze za otroke od 7-12 leta in za odrasle prebivalce, ki v enem letu popijejo 1000 L mineralnih vod. Pri oceni nismo upoštevali pitja termalnih vod kot tudi ne pitje Donata iz vrtine V3/66-70. Območje ocenjenih doz in vsote za posamezne radionuklide so prikazane v tabeli 6.

Tabela 6. Območja ocenjenih efektivnih doz za otroke od 7-12 leta in za odrasle prebivalce zaradi uživanja mineralnih vod (μSv)

Izotop	Otroci 7-12 let efektivna doza (μSv)	Odrasli efektivna doza (μSv)
^7Be	0.0005 - 0.0006	0.0003 - 0.00035
^{40}K	0.3 - 20	0.15 - 9
^{210}Pb	19 - 95	7 - 35
^{226}Ra	8 - 120	3 - 42
^{232}Th	1.5 - 87	1 - 69
^{238}U	1 - 24	0.5 - 16
Vsota	29 - 350	11 - 170
Povprečje	190	90

Iz tabele je razvidno, da se efektivne doze za otroke od 7-12 leta in za odrasle se gibajo v območju od 29 - 350 μSv in 11 - 170 μSv , povprečne vrednosti pa so 190 μSv in 90 μSv , zapovrstjo. K dozi največ prispevajo ^{210}Pb , ^{226}Ra in ^{232}Th , to je približno 90 %. Posamezen izotop prinese pri otrocih od 7-12 let okoli 60 μSv in pri odraslih okoli 25 μSv na leto.

6. Zaključki

V nekaterih vzorcih termalnih in mineralnih vod so bile izmerjene dokaj visoke specifične aktivnosti ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th (mineralne vode iz Radencev) in celo ^{238}U (Donat iz vrtine). Pri oceni doz smo ugotovili, da prej omenjeni radioaktivni izotopi prinesejo 90 % vse doze zaradi pitja mineralnih vod in da pri otrocih od 7-12 leta prispevajo posamezno več kot 50 μSv na leto.

Povprečne letne prejete doze so 90 μSv za odrasle in 190 μSv za otroke od 7-12 leta in ne presegajo z zakonom določenih dovoljenih vrednosti. Ocenjene doze so previsoke, saj upoštevamo, da prebivalci v enem letu popijejo 1000 L mineralnih vod, kar je najbrž vsaj 2-4 krat previsoka ocena.

Pomembno je dejstvo, da pri pitju mineralnih voda prejmemo doze, enake ali nekajkrat višje od doz, ki jih prejmemo pri uživanju hrane zaradi vnosa umetnih radioaktivnih izotopov v organizem. Še posebej je to pomembno na področjih, ki zaradi geološke sestave tal vsebujejo večje količine naravnih radioaktivnih izotopov, ljudje pa uporabljajo podtalnico ali izvire bodisi iz lastnih vodnjakov ali zbiralnih bazenov za vsakdanjo rabo.

6. Literatura

- (1) World Health Organization (WHO): Radiological examination of drinking water. Report on working group, Brussels, 7-10 Nov 1987, EURO Reports and Studies No 17, WHO Regional Office, Copenhagen, (1979).
- (2) Strahlenschutzkriterien für die Nutzung von möglicherweise durch den Uranbergbau beeinflussten Wässern als Trinwasser. Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 10-11.12.1992, Bundesanzeiger 94 vom 23.5.1993.
- (3) Burnett, C.W.: Radon Radium and other Radioactivity in Ground Water, April 7-9, Somerset, New Jersey, Lewis Publisher (1987), ISBN 0-87371-117-3.
- (4) Pravilnik o največjih mejah radioaktivne kontaminacije človekovega okolja in o dekontaminaciji, Z9, Ur. list SFRJ 8/87.
- (5) Pravilnik o načinu, obsegu in rokih sistematičnih preiskav kontaminacije z radioaktivnimi snovmi v okolici jedrskih objektov, Z2, Ur. list SFRJ 51/86.
- (6) Safety Series 115: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA 1996