



RADONSKE RAZINE U HRVATSKIM TOPLICAMA

Vanja Radolić, Branko Vuković, Denis Stanić i Josip Planinić
Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek
e-mail: vanja@ffos.hr

UVOD

Radon (^{222}Rn) je plemeniti radioaktivni plin koji nastaje radioaktivnim raspadom atoma radija uz emisiju α -čestice. Radon je u plinovitom obliku topiv u vodi i u područjima bogatim izvorima geotermalne vode, nošen tzv. plinovima nosačima (CO_2 , CH_4 , N_2), prolazi velike udaljenosti kroz unutrašnjost Zemlje te se akumulira na njenoj površini. Posljedice toga su vrlo visoke radonske koncentracije u pojedinim geotermalnim toplicama koje mogu uzrokovati zdravstvene poteškoće kod radnog osoblja [1,2].

U Republici Hrvatskoj ima desetak termalnih toplica sa zatvorenim bazenima koje pružaju zdravstvene usluge pacijentima i posjetiteljima. Cilj ovog istraživanja je mjerenje radona u zraku i u vodi u hrvatskim toplicama sa svrhom procjene doznog ekvivalenta kojeg prime zaposlenici, ali i posjetitelji.

EKSPERIMENTALNE METODE

Mjerenje koncentracije radona u zraku i u vodi (na izvoru i u zatvorenom bazenu) kao i mjerenje određenih meteoroloških parametara (temperature zraka, barometarskog tlaka, relativne vlažnosti zraka) je provedeno uporabom AlphaGUARD PQ2000 PRO mjernog uređaja (Genitron Instruments GmbH, Njemačka). Središnji dio ovog modularnog sustava je uređaj kojemu je detektor radona pulsna ionizacijska komora aktivnog volumena $0,56 \text{ dm}^3$. Uređaj može raditi na dva operativna načina: difuzijski i pumpni. Koncentracija radona u zraku je mjerena u difuzijskom načinu s mjernim ciklusom od 10 minuta dok je koncentracija radona u vodi mjerena pumpnim načinom rada, a mjerenje je trajalo 30 minuta.

Integralna mjerenja koncentracije radona i njegovih kratkoživućih potomaka u zraku su provedena s detektorima nuklearnih tragova LR-115, tip II (Kodak Pathé, Francuska). U dvije cilindrične detektorske posude, promjera 9,6 cm i visine 9 cm - od kojih je jedna zatvorena filter papirom površinske gustoće $0,078 \text{ kg/m}^2$ (difuzijski detektor), a druga je bila otvorena - postavi se po jedan film LR-115. Koncentracija radona u zraku se dobije kao produkt koeficijenta osjetljivosti ($k = 28,7 \text{ Bq m}^{-3} / \text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) i gustoće tragova na filmu u difuzijskom detektoru. Metoda mjerenja s dva detektora nuklearnih tragova (otvoreni i difuzijski) omogućuje određivanje ravnotežnog faktora za radon i njegove kratkoživuće potomke [3].

Detektori su preliminarno izlagani na blagajnama toplica 1, 2 i 4 (Tablica 1) u zimskim mjesecima (studeni 2003 - ožujak 2004), a potom su jetkani u 10%

vodenoj otopini NaOH pri 60 °C u trajanju od 120 min. Nakon toga, tragovi su brojani pomoću optičkog mikroskopa s povećanjem 10x16.

REZULTATI

Rezultati mjerenja koncentracije radona pomoću AlphaGUARD mjernog uređaja su prikazani u Tablici 1.

Tablica 1. Koncentracija radona u zraku (c_z), u vodi u bazenima (c_{v-b}) te u vodi na izvorima (c_{v-i}) u geotermalnim toplicama u Republici Hrvatskoj

Toplice	c_z (Bq/m ³)		c_{v-b} (kBq/m ³)		c_{v-i} (kBq/m ³)	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Bizovac	10,9 ± 9,1	23,0 ± 9,0	0,79 ± 0,26	1,05 ± 0,33	2,02 ± 0,41	2,62 ± 0,49
Daruvar	40,0 ± 19,0	17,3 ± 10,3	3,58 ± 0,64	2,71 ± 0,51	7,93 ± 0,96	6,65 ± 0,85
Ivanić Grad		28,1 ± 13,0		3,55 ± 0,56		2,10 ± 0,46
Lipik	42,2 ± 18,2	28,3 ± 13,0	2,26 ± 0,44	1,96 ± 0,41	6,07 ± 0,82	5,21 ± 0,71
Krapina		80,0 ± 34,0	6,44 ± 0,80	7,38 ± 0,88	7,78 ± 0,89	6,72 ± 0,85
Stubica	109,0 ± 9,0	91,0 ± 8,0	18,60 ± 1,79	15,22 ± 1,37	82,07 ± 5,10	93,79 ± 5,84
Topusko		40,5 ± 18,3		2,71 ± 0,46		34,02 ± 2,44
Tuhelj	50,2 ± 11,2	22,4 ± 12,8	1,43 ± 0,32	0,73 ± 0,40	4,99 ± 0,63	4,42 ± 0,64
Varaždin	28,0 ± 10,0	22,1 ± 12,7	2,15 ± 0,44	1,59 ± 0,49	18,66 ± 1,60	10,49 ± 1,05

Kontinuirana mjerenja koncentracije radona u zraku zatvorenih bazena su provedena u travnju 2003. i 2004., a dobiveni rezultati su bili u intervalu od 10,9 Bq/m³ (Bizovac) do 109,0 Bq/m³ (Stubica) uz srednju vrijednost od 40,3 Bq/m³.

Treba naglasiti da su prije desetak godina izvršena mjerenja radona u zraku u Bizovačkim toplicama [4] i srednja dnevna koncentracija radona u zatvorenom bazenu je bila 70,0 Bq/m³, na blagajni bazena 55,0 Bq/m³, a u hotelskoj sobi na drugom katu 40,0 Bq/m³. U travnju 2004. smo poduzeli slično istraživanje, ovaj put u navedenim hrvatskim toplicama, izloživši detektore nuklearnih tragova godinu dana. Rezultat preliminarnog četveromjesečnog izlaganja (od studenog 2003. do ožujka 2004.) u Bizovačkim toplicama je radonska koncentracija u zraku na blagajni bazena od 42,8 Bq/m³.

Koncentracije radona u termalnoj vodi u zatvorenim bazenima hrvatskih toplica su bile u intervalu (0,73 – 18,60) kBq/m³; srednja vrijednost je iznosila $c_{v-b,a} = 4,5$ kBq/m³.

Mjerenja radona u uzorcima vode, s onih geotermalnih izvora iz kojih se pune bazeni s termalnom vodom, pokazala su više koncentracije koje su bile u intervalu od (2,02 – 93,79) kBq/m³ sa srednjom vrijednosti, $c_{v-i,a} = 19,6$ kBq/m³.

Ovako velika razlika između $c_{v-b,a}$ i $c_{v-i,a}$ nastaje prvenstveno zbog dva razloga. Prvo, ako se termalna voda u bazenu ne mijenja svakodnevno tada radonska aktivnost značajno opada zbog radioaktivnog raspada, budući da je vrijeme poluraspada radona $\tau_{1/2} = 3,825 d$. Drugi mogući razlog smanjenja koncentracije radona u bazenima, u odnosu na izvore, je tehničke prirode: da bi se održavala stalna temperatura vode u bazenima, geotermalna voda s izvora se miješa s običnom vodovodnom vodom koja, uglavnom, ima manje radona od izvorske. Tako je, npr. u Bizovačkim toplicama temperatura vode na izvoru (prije miješanja s običnom vodom) $t_i = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ (318 K), temperature vode u bazenu $t_b = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ (308 K), a temperature obične vode iz vodovoda $t_o = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ (288 K). Mjerenja koncentracije radona u vodi, u travnju 2004, su dala sljedeće vrijednosti: $c_{v-i} = 2,02 \text{ kBq/m}^3$ za vodu s izvora; $c_{v-b} = 1,05 \text{ kBq/m}^3$ za vodu u bazenu; $c_{v-o} = 0,30 \text{ kBq/m}^3$ za običnu vodu iz gradskog vodovoda. Budući da se temperatura vode s izvora treba smanjiti za $10 \text{ }^\circ\text{C}$, primjenom jednostavne kalorimetrijske jednadžbe se dobije omjer mase obične vode koju treba dodati vodi s izvora da se dobije voda za bazen: $f_{oi} = (t_i - t_b) / (t_b - t_o) = 0,5$. Pretpostavimo li da postoji razmjer između mase i radioaktivnosti, iz zakona radioaktivnog raspada i opisanih relacija, vrijeme radioaktivnog raspada radona u bazenu, t , se može izraziti formulom

$$t = \frac{\tau_{1/2}}{\ln 2} \ln \left[f_{ib} (1 - f_{oi}) + f_{oi}^2 \right], \quad (1)$$

gdje je $f_{ib} = c_{v-i}/c_{v-b} = 2,02/1,05 = 1,925$. Naravno, t predstavlja i vremenski interval između punjenja bazena i trenutka uzorkovanja vode iz bazena, a u slučaju Bizovačkih toplica ta "starost" vode u bazenu je iznosila $t = 1,06$ dana. Uprava Bizovačkih toplica nas je obavijestila da se voda u bazenu mijenja tri puta tjedno.

Usporedbom podataka o radonu u toplicama u Sloveniji [5], Mađarskoj [6], Njemačkoj [7], Grčkoj [8], Venezueli [9], Španjolskoj [10] i SAD-u [11] gdje su vrijednosti koncentracija radona bile u intervalu od 0,2 do 600 kBq/m³, radonske razine u hrvatskim toplicama su niske.

Ako se uzme u razmatranje najviša vrijednost radonske koncentracije u zatvorenim bazenima od 109,0 Bq/m³ (Stubičke Toplice) te faktor konverzije za brzinu doze od 3,2 nSv/h po Bq/m³ [2], zaposlenici godišnje (uz pretpostavljenih 2000 radnih sati) prime efektivnu dozu od 0,7 mSv/g što je ispod granične doze od 6 mSv/g za radna mjesta.

Za istu smo lokaciju (Stubičke Toplice) odredili transfer faktor, $f_{zv} = (c_z - c_0) / c_{v-b}$ koji opisuje doprinos radona iz vode povećanju koncentracije radona u zraku. Koncentracija radona u hotelskoj sobi iznosi $c_0 = 17,3 \text{ Bq/m}^3$ te uzimajući vrijednosti za c_z i c_{v-b} iz Tablice 1, transfer faktor za obje godine (2003 i 2004) iznosi $4,9 \cdot 10^{-3}$. To je približno 50 puta veća vrijednost od uobičajene (10^{-4}) u kućama, koja se dobije uporabom vode iz gradskog vodovoda [11].

ZAKLJUČAK

Provedena su mjerenja radona u hrvatskim toplicama i dobivene su vrijednosti koncentracije radona u zraku i vodi u bazenima u intervalima od (10,9 – 109,0) Bq/m³ te (0,73 – 18,6) kBq/m³, s odgovarajućim srednjim vrijednostima od 40,3 Bq/m³ odnosno 4,5 kBq/m³; koncentracije radona na izvorima su bile u intervalu od (2,02 – 93,79) kBq/m³, sa srednjom vrijednosti od 19,6 kBq/m³. U usporedbi sa drugim zemljama Europe kao i Srednje odnosno Sjeverne Amerike, radonske razine u hrvatskim toplicama su niske. Uočena je velika razlika između koncentracije radona u vodi bazena i na izvoru te su razmatrani mogući razlozi u obliku miješanja obične i termalne vode u bazenu te radioaktivnog raspada radona; izvedena je jednadžba (1) za određivanje starosti vode u bazenu.

Za Stubičke Toplice je procijenjena efektivna doza koju primi prosječan zaposlenik. Dobivena vrijednost od 0,7 mSv/g je manja od granične doze od 6 mSv/g za radna mjesta. Za istu lokaciju, Stubičke Toplice, određen je transfer faktor radona iz termalne vode prema zraku u zatvorenom bazenu, a koji iznosi $4,9 \cdot 10^{-3}$.

LITERATURA

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against radon-222 at home and at work, ICRP Publication 65. Oxford: Pergamon Press; 1993.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Reports Series No. 33, Vienna: IAEA; 2003.
- [3] Planinić J, Faj Z, Radolić V, Šuveljak B. Radon equilibrium factor and aerosols, Nuclear Instruments and Methods A 1997; 396:414-417.
- [4] Planinić J, Faj Z, Šuveljak B, Radolić V, Vaupotič J, Kobal I. Radon in the spa of Bizovac, J Radioanal Nucl Chem, Articles 1996; 210(1):227-231.
- [5] Kobal I, Krista J, Ancik M, Jerencic S, Skofljanec M. Radioactivity of thermal and mineral springs in Slovenia, Health Phys 1979; 37:239-242.
- [6] Szerbin P. Natural radioactivity of certain spas and caves in Hungary, Environ Int 1996; 22(1):389-398.
- [7] Steinhausler F. Radon spas: Source term, doses and risk assessment, Radiat Prot Dosim 1988; 24:257-259.
- [8] Vogianis E, Niaounakis M, Halvadakis C. Contribution of ²²²Rn-bearing water to the occupational exposure in thermal baths, Environ Int 2004 (in press).
- [9] Horvath A, Bohus L.O, Urbani F, Marx G, Piroth A, Greaves E.D. Radon concentration in hot spring waters in northern Venezuela. J Environ Radioact 2000; 47:127-133.
- [10] Soto J, Fernandez PL, Quindos LS, Gomez-Arozamena J. Radioactivity in Spanish spas, Sci Total Environ 1995; 162:187-192.
- [11] Nazaroff W. Radon and its decay products in air, Nero, A. (Eds), John Wiley & Sons, New York. 1988.

RADON LEVELS IN CROATIAN SPAS

Vanja Radolić, Branko Vuković, Denis Stanić and Josip Planinić
Department of Physics, University in Osijek, Trg Ljudevita Gaja 6,
HR-31000 Osijek, Croatia
e-mail: vanja@ffos.hr

Average radon concentrations in the air and geothermal water of spa pools in Croatia were 40.3 Bq/m^3 and 4.5 kBq/m^3 , respectively. Substantial difference between radon concentrations in pool and spring water is explained by the mixing normal and geothermal water in the pool and with radon decay. The estimated annual effective dose received by the personnel in the spa of Stubičke toplice, Croatia was 0.7 mSv . At the same location, the calculated transfer factor of radon for the air and thermal water in the pool was $4.9 \cdot 10^{-3}$.