

*Originalan naučni rad
Original scientific paper
UDC: 539.16:699.841(497.6 Tuzla)
DOI: 10.5825/afts.2012.0407.011S*

RADON U VODAMA SEIZMIČKI AKTIVNIH ZONA TUZLANSKE REGIJE

Spona Uzeir

JU „Gimnazija Lukavac“ Lukavac, E-mail: uzeir.spona@bih.net.ba

REZIME

Već više od trideset godina traju istraživanja na temu naglih promjena (iznenadnog povećanja ili smanjenja) koncentracije radona koja prethodi zemljotresu na određenoj lokaciji. U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u vodama seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije. Korištena je i opisana metoda mjerenja radona u vodi pomoću AlphaGUARD mjernog sistema kao i metodologija uzorkovanja vode iz jezera Modrac te bunara i izvorišta na području seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije. Dobiveni rezultati uspoređeni su s referentnim vrijednostima iz literature te su procijenjene doze kao i rizici za zdravlje ljudi koji žive nad seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije.

Ključne riječi: *radon u vodi, detekcija, uzorkovanje, seizmika*

RADON IN THE WATERS OF SEISMICALLY ACTIVE ZONES IN THE TUZLA REGION

SUMMARY

For over thirty years, a research has been done on the subject of abrupt changes (a sudden increase or decrease) in the concentration of radon which precedes an earthquake at a particular location. This paper presents the results of measurements of radon activity concentration in the waters of seismically active zones of the Tuzla region. The paper uses and describes the method of measuring radon in water using AlphaGUARD measuring system and method of sampling water from Modrac Lake as well as springs and wells in the seismically active zones of the Tuzla region. The results were compared with reference values from the literature and the estimated doses and risks to the health of people living in seismically active zones of the Tuzla region.

Keywords: *radon in water, detection, sampling, seismic*

UVOD

U svakom prirodnom radioaktivnom nizu u sredini su emanacije, izotopi radona. Radon je plemeniti, radioaktivni, hemijski inertan gas i zato je pokretan na normalnoj temperaturi. To je bezbojan gas, bez mirisa, ali mu svojstvo radioaktivnosti omogućava da se detektuje i mjeri. Radon je direktni produkt raspada radijuma, koji na površinu zemlje dolazi iz njene unutarašnjosti, jer se u određenim

koncentracijama nalazi u granitnim, pegmatitskim i mineralnim stijenama.[1] Inertost radona uslovljava njegovu mobilnost unutar zemljine kore do rastojanja koje mu dozvoljava njegovo vrijeme poluraspada (3,82 dana), tako da može da bude od velike pomoći u dobijanju korisnih informacija o postojanju mineralizacije urana, kao i traser podzemnih fizičkih procesa.[2]

Mjerenje nivoa koncentracije aktivnosti radona naučnici obavljaju uglavnom unutar dva velika polja istraživanja: biomedicinskim i geološkim naukama. U prvom slučaju, motiv je da izloženost radonu može izazvati kancere različitog tipa. Brojne publikacije u vezi sa ovom temom neprestano se uvećavaju. U drugom slučaju, mjerenja radona izvode se za različite primjene, kao što su prospekcija minerala, za geotermalna istaživanja, predskazivanje zemljotresa i vulkanskih erupcija.

U mnogim državama svijeta, specijalizovane naučne ekipe koje posjeduju moderne sisteme za detekciju radona, kontinuirano prate varijacije nivoa koncentracije aktivnosti radona u vazduhu, zemljištu, u termalnim i mineralnim izvorima koji se nalaze duž tzv. seizmički aktivnih rasjednih zona u kojima se javljaju zemljotresi. Istraživači u Japanu su dva mjeseca prije pojave snažnog zemljotresa u Kobeu 1995. godine detektovali povećane koncentracije aktivnosti radona u izvorima u radijusu od 30 km od epicentra potresa. Deset dana prije pojave zemljotresa, koncentracija radona je bila 12 puta veća od normalne koncentracije na tom području.

Seizmički fenomeni (zemljotresi) na teritoriji BiH se javljaju duž aktivnih rasjednih zona, koje mogu biti duge nekoliko desetaka kilometara i nekoliko kilometara široke. Zemljotresi se u tim zonama javljaju na relativno malim dubinama od 5 do 35 km.

Zračenje koje se detektuje u nenarušenoj prirodnoj okolini obično se podrazumijeva za nulti nivo od koga se onda računaju ostali doprinosi. Precizno poznavanje nultog nivoa prirodne radioaktivnosti po pojedinim regionima, predstavlja nezaobilazan osnov za procjenu promjene prirodnog fona. Istraživanje nivoa prirodne radioaktivnosti nastalih usljed raznih geofizičkih procesa i aktivnosti, na područjima na kojima su mogući veći rasjedi i jače seizmičke aktivnosti, je predmet istraživanja ovog rada.

Mjerenjem koncentracije aktivnosti radona u podzemnoj vodi mogu da se identifikuju različite pukotine kao i geotermalni izvori koji leže duboko ispod zemljine površine. Prisustvo geoloških pukotina omogućava kretanje radona i samim tim njegovu visoku emisiju do zemljine površine. Zato mjerenjem nivoa koncentracije aktivnosti radona u zemljinom gasu i podzemnim vodama, mineralnim i termomineralnim vodama koje su vezane za duboke rasjede zemljine kore, mogu da se dobiju brojne informacije o geološkim karakteristikama i fizičkim procesima koji se odvijaju ispod površine zemlje ispitivanog područja.[3]

Za proučavanje veze između seizmičke aktivnosti i varijacije nivoa aktivnosti koncentracije radona naročito su zanimljiva slijedeća područja na teritoriji BiH: Banja Luka, Doboj, Tuzla, Sarajevo (Ilidža), Mostar, Foča, Gacko i Trebinje. U ovom radu će se obraditi nivoi radona u vodama seizmički aktivnih zona području Tuzlanske regije.

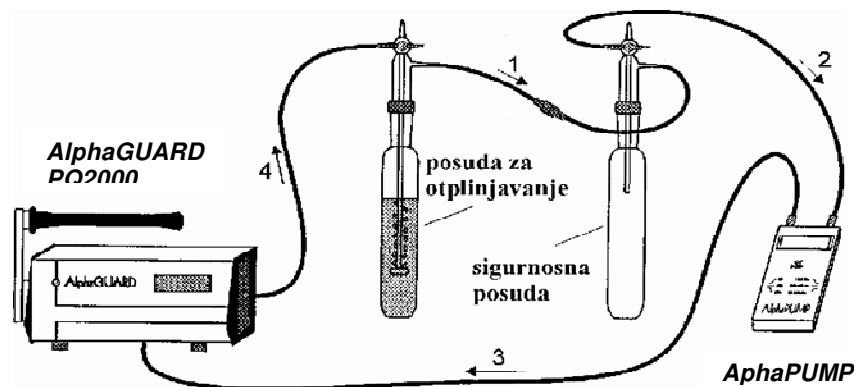
MATERIJAL I METODE

Mjerenje i detekcija koncentracije aktivnosti radona obavlja se neposredno, mjerenjem samog radona ili posredno, preko njegovih potomaka. Potomci radona su α , β , i γ -emiteri, pa se mjerenje koncentracije aktivnosti radona može da izvrši mjerenjem α , β i γ zračenja pri njegovoj interakciji sa različitim materijalima, koji se koriste u odgovarajućoj mjernoj tehnici.

Budući da je u većini slučajeva, koncentracija aktivnosti radona i njegovih potomaka u okolini relativno niska, mjerne metode moraju biti osjetljive, tačne i pouzdane. Pri donjoj granici osjetljivosti detektora, nesigurnosti i pogreške mjerenja koje potiču od same prirode radioaktivnosti koja je stohastičnog karaktera, mogu se ublažiti povećanjem zapremine uzorkovanog zraka ili produženjem vremena mjerenja i analize.

Alpha GUARD PQ 2000/ MC50 Multiparameter Radon Monitor za detekciju radona u vodi i zraku je kompletan sistem za kontinuirano mjerenje koncentracije radona i njegovih kratkoživićih potomaka u zraku, koncentracije radona u zemljištu i vodi kao i mjerenje određenih meteoroloških parametara (temperature zraka, barometarskog pritiska, relativne vlažnosti zraka). Podesan je kako za kratkovremeno, tako i za dugovremeno unutrašnje i vanjsko ispitivanje. Takođe se može koristiti za permanentno praćenje nivoa koncentracije radona u industrijskim postrojenjima ili u vazduhu. Mjerni opseg za koncentraciju aktivnosti radona ovog uređaja je $2 - 2 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^3$, dok je temperaturni opseg od -10 do 50°C . Osnovna konfiguracija se sastoji od AlphaGUARD Radon Monitor-a i DataEXPERT softverskog paketa.

Glavni dio ovog modularnog sistema je AlphaGUARD PQ 2000 PRO u kome je detektor radona, pulsna jonizujuća komora aktivne zapremine $0,56 \text{ dm}^3$. Uređaj može raditi na dva operativna načina: difuzijski i pumpni. U difuzijskom načinu radon sam difuzijom ulazi u jonizacijsku komoru kroz filter od fiberglasa koji sprječava ulazak radonovim potomcima, odnosno aerosolima, dok se za pumpni režim rada upotrebljava AlphaPUMPA.



Slika 1. Metoda mjerenja radona u vodi pomoću i AlphaGUARD mjernog sistema - crtež.

Figure 1. Method for measuring radon in water using the measuring system and AlphaGUARD - drawing.

Pumpom se može podesiti brzina strujanja zraka u detektorskoj komori na neku od predefinisanih vrijednosti (0,03, 0,05, 0,1, 0,3, 0,5 i 1 l/min). Kućište komore se nalazi na pozitivnom potencijalu od 750 V (anoda), a unutra se nalazi katoda koja je izolatorom pričvršćena na kućište

Radioaktivnim raspadom radona α -čestice joniziraju zrak unutar komore. Katoda privlači pozitivno nabijene čestice koje na njoj uzrokuju slabu struju koja se mjeri. Ta struja je proporcionalna količini raspadnutih atoma radona.

Mjerni uređaj AlphaGUARD koristi DSP tehnologiju (engl. Digital Signal Processing) za obradu izlaznog signala iz jonizujuće komore. Naime, simultanom primjenom tri različita sistema za oblikovanje impulsa u kombinaciji s analogno-digitalnim pretvaračima te složenim matematičkim algoritmima dobivaju se različite informacije iz signala. AlphaGUARD uređaj omogućava promjenu intervala mjerenja od 10 min. odnosno 60 min. u difuznom modu te 1 min. odnosno 10 min. u pumpnom načinu rada. Izmjerene koncentracije se pohranjuju u računarsku memoriju. Mjerno područje mu je od 2 Bq m^{-3} do $2 \cdot 10^6 \text{ Bq m}^{-3}$. [4]

AlphaGUARD je uređaj koji se može nositi, male je težine i funkcioniše pomoću baterija ili povezivanjem na gradsku mrežu. Posjeduje visok kapacitet pohranjivanja podataka. Osim određivanja koncentracije radona u vazduhu, AlphaGuard uz pomoć integrisanih senzora, mjeri i bilježi prostornu temperaturu, relativnu vlažnost i atmosferski pritisak.

Određivanje koncentracije radona u uzorku vode temelji se na određivanju koncentracije radona u zraku. Eksperimentalna postavka koja pored, AlphaGUARD-a i AlphaPUMPE, sadrži još i dvije staklene posude: za otplinjavanje i sigurnosnu posudu, a prikazan je na Slici 1. Sama procedura

mjerenja nakon uzorkovanja određene količine vode izvodi se na sljedeći način: Otvore se sigurnosni ventili na vrhu obje posude i plastičnom injekcijom se polagano usipa uzorkovana količina vode. Zatvore se sigurnosni ventili na obje posude, AlphaGUARD se postavi u pumpni režim rada s mjernim ciklusom od 1 min. Na AlphaPUMPI se postavi brzina strujanja na vrijednost 0,3 l/min i uključi se u trajanju od 15 min. Nakon toga se isključi AlphaPUMPA, a mjerenje AlphaGUARD-om se nastavlja sljedećih 20 min (ukupno 35 min).

Određivanje koncentracije aktivnosti radona u vodi se bazira na prikazanoj koncentraciji radona na displeju AlphaGUARD-a. Ova mjerena vrijednost nije koncentracija radona u mjernom uzorku zato što je izlučeni radon „razblažen“ zrakom u mjernoj opremi, a jedan manji dio radona ostaje u tekućoj fazi.[5]

Prema tome, za određivanje koncentracije radona u uzorku vode koristi se sljedeća jednačina

$$C_{vode} = \frac{C_{vazduha} \cdot \left(\frac{V_{sistema} - V_{uzorka}}{V_{uzorka}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (1)$$

gdje je:

C_{vode} - koncentracija radona u uzorku vode [Bq/l],

$C_{vazduha}$ - koncentracija radona izražena u [Bq/m^3], poslije potiskivanja radona iz uzorka (prikazano i očitano na displeju AlphaGUARD-a),

C_0 - koncentracija radona u mjernoj opremi prije stavljanja uzorka (nulti nivo ili fon) [Bq/m^3],

$V_{sistema}$ - zapremina mjerne opreme (jonizujuća komora) AlphaGUARD uređaja, AlphaPUMP, degazni sud, sigurnosni sud i spojne cijevi (ml), sveukupno ova zapremina iznosi 1122 ml,

V_{uzorka} - zapremina uzorka vode (ml),

k - koeficijent distribucije radona.

Tačnost mjerenja vrijednosti koncentracije radioaktivnog gasa radona koji pokazuje AlphaGUARD zavisi od: hermetičnost i neprobojnosti mjerne opreme, odnosa zapremine uzorka/mjerne opreme, temperature uzorka, količine radona u mjernoj opremi prije početka eksperimenta i pozadine AlphaGUARD-a.

Opadanjem temperature količina radona u vodi raste. Također, koeficijent difuzije raste kada temperatura opada. Na određenim dijagramima prikazana je zavisnost temperature od koeficijentata difuzije (k). Kako je prosječna temperatura u laboratoriji u vrijeme mjerenja iznosila od 25 do 30 °C, to je ovaj koeficijent imao vrijednosti $k = 0,22 \div 0,2$. (srednja vrijednost $k = 0,21$). Ova vrijednost je uvrštavana u formulu (1). Maksimalna očekivana greška zbog ove aproksimacije može biti < 1,5 %.

REZULTATI I RASPRAVE

Uzorkovanje vode je vršeno iz kopanih i bušenih bunara nad seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije. Dubina bunara bila je od 5 m do 30 m. Voda je također uzeta i iz nekoliko dubinskih izvora i iz Jezera Modrac. Starost bunara je od 5 do 50 godina. Ukupno je uzeto 26 uzoraka vode, tabela br. 1.

Prilikom uzorkovanja vodilo se računa da ne dođe do uzburkavanja vode u posudama za uzorkovanje, što bi dovelo do odlaska radona iz uzorka. Uzorkovanje je vršeno u ranim jutarnjim satima, a mjerenje obavljeno isti dan, ne duže od pet sati nakon uzorkovanja. Eksperimentalni dio je rađen u Laboratoriji za detekciju, dozimetriju i zaštitu od zračenja, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli Bilježene su geografske kote lokacija bunareva ili izvora sa kojih su uzorkovane vode za ispitivanje. U koloni 1 su označene interne oznake uzorka; (npr I-2), gdje rimski broj označava broj seizmičkog rasjeda., a arapskim brojem su označeni brojevi bunareva ili izvora. U koloni 2 su napisani nazivi mjesta u kojima se nalazi bunar ili izvor. U zadnjoj koloni je opisana vrsta bunara, starost i dubina.

Tabela 1. Oznake lokacija (seizmički rasjed-broj bunara/izvora), naziv, geografske koordinate položaja bunara/izvora i opis
 Table 1 Marks of the locations (seismic fault-number of wells / springs), name, geographical coordinates of wells / springs and description.

Lokacija	Naziv mjesta	Geografske kote (S,I,H)	Opis
I-1	Dobošnica G.	$44^{\circ}36'13,11''$ S $18^{\circ}27'34,23''$ I 223 m	Bušeni bunar, dubok 6 m
I-2	Kruševica	$44^{\circ}36'28,23''$ S $18^{\circ}27'44,49''$ I 240 m	Izvor
II-3	Miričina	$44^{\circ}37'02,18''$ S $18^{\circ}24'41,11''$ I 187 m	Bušeni bunar dubok 30 m
III-4	Mramor, Stube	$44^{\circ}35'30,70''$ S $18^{\circ}33'56,11''$ I 263 m	Izvor
III-5	Dobrnja, Denis -1	$44^{\circ}34'47,67''$ S $18^{\circ}34'51,21''$ I 266 m	Bunar, dubina 4 m
III-6	Dobrnja, Denis -2	$44^{\circ}34'42,07''$ S $18^{\circ}35'00,60''$ I 240 m	Bunar, dubina 7 m
III-7	Slavinivići banja	$44^{\circ}31'40,11''$ S $18^{\circ}42'55,37''$ I 250 m	Termalni izvor
III-8	Požarnica	$44^{\circ}31'54,97''$ S $18^{\circ}45'40,05''$ I 309 m	Izvor, bara
IV-9	Tojšići, Handžići	$44^{\circ}29'16,53''$ S $18^{\circ}47'23,13''$ I 282 m	Bunar, zidani, dubina 9 m
V-10	Vukovije D.	$44^{\circ}27'47,13''$ S $18^{\circ}44'33,70''$ I 244 m	Bunar, bušeni, dubina 9 m, star 10g.
V-11	Par Selo	$44^{\circ}30'40,18''$ S $18^{\circ}41'18,78''$ I 282 m	Izvor
V-12	Dubrave D. , Bajro	$40^{\circ}28'44,28''$ S $18^{\circ}41'18,78''$ I 209 m	Bunar zidani, dubina 8 m
V-13	Par Selo, Moluhe	$40^{\circ}30'40,21''$ S $18^{\circ}40'17,31''$ I 285 m	Izvor
VII-14	Lukavac, Petrak -1	$44^{\circ}31'54,98''$ S $18^{\circ}31'51,45''$ I 184 m	Izvor mineralne vode
VII-15	Lukavac, Hanić	$44^{\circ}32'06,30''$ S $18^{\circ}32'06,14''$ I 199 m	Izvor
VII-16	Lukavac	$44^{\circ}32'07,29''$ S $18^{\circ}31'57,87''$ I 189 m	Gradski vodovod
VII-17	Lukavac, Petrak -2	$44^{\circ}31'54,98''$ S $18^{\circ}31'51,45''$ I 184 m	Izvor
VII-18	Turija, Palestina	$44^{\circ}31'05,07''$ S $18^{\circ}26'00,60''$ I 211 m	Bunar, zidani, dubine 9 m
VII-19	Jezero Modrac	$44^{\circ}30'43,93''$ S $18^{\circ}28'47,74''$ I 197 m	Uzorak uzet iu jezera
VII-20	Ljubače, Suha	$44^{\circ}28'14,28''$ S $18^{\circ}36'04,27''$ I 200 m	Bunar zidani, dubine 8 m

VII-21	Priluk	$\frac{44^{\circ}28'23,25''\text{ S}}{18^{\circ}31'39,28''\text{ I}}$	Bunar zidani, dubine 28 m
		230 m	
VII-22	Ljubače, Asf. baza	$\frac{44^{\circ}28'41,73''\text{ S}}{18^{\circ}36'35,47''\text{ I}}$	Bunar zidani, dubine 10 m
		209 m	
VII-23	Modrac	$\frac{44^{\circ}31'04,86''\text{ S}}{18^{\circ}30'46,25''\text{ I}}$	Izvor
		196 m	
VII-24	Tabaci	$\frac{44^{\circ}31'45,56''\text{ S}}{18^{\circ}29'50,74''\text{ I}}$	Bunar zidani, dubine 7 m
		194 m	
VII-25	Lukavac, Risto	$\frac{44^{\circ}32'10,47''\text{ S}}{18^{\circ}32'04,08''\text{ I}}$	Bunar zidani, dubine 12 m
		202 m	
VII-26	Puračić, Bukva	$\frac{44^{\circ}32'29,29''\text{ S}}{18^{\circ}28'33,98''\text{ I}}$	Izvor
		201 m	

Voda za uzorkovanje i ispitivanje je uzimana iz dubinskih bunareva i izvora koji se nalaze na seizmičkim pukotinama. Vode sa izvora i bunareva su uzorkovane u periodu od 02. 07. do 14. 07. 2010. godine. Uzorci su uzimani u ranim jutarnjim satima, a analiza je vršena isti dan u Laboratoriji PMF-a u Tuzli. Vrijeme od uzorkovanja do analize nije bilo duže od 4 sata. Uzorci vode su uzimani i nošeni do laboratorije u retortama od 200 ml., poklopljeni. Vodio se računa da ne dođe do mućkanja tekućine u transportu.

U tabeli 2. su predstavljeni rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u vodama uzetim sa mjernih lokacija seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije. Tokom cijelog ispitivanja u Laboratoriji je bila temperatura od 25°C do 28°C , pritisak oko 990 mbara, a relativna vlažnost vazduha od 43 do 70%. Vrijednost fona tokom svog vremena mjerenja u laboratoriji bila je $< 30\text{ Bq/m}^3$.

Najveći broj (13) uzoraka vode je uzet iz izvora i bunareva sa seizmičkog rasjeda VII, Ljubače – Šerići – Suha – Jezero Modrac – Mosorovac – Turija. Sa područja općine Lukavac uzeto je 12 uzoraka vode iz raznih bunareva i izvora. Varijacije koncentracije aktivnosti radona su nepredvidive i na njih utiče veliki broj faktora. Voda je uzorkovana u kratkom vremenskom periodu (7 dana), u približno isto vrijeme svakog dana; pritisak i temperatura vazduha su bili približno isti za svo vrijeme uzorkovanja. Ovim se željelo faktore nepredvidivosti svesti na što manji broj.

Iz tabele br. 2, uočava se da je najveća vrijednost koncentracija aktivnosti radona u vazduhu poslije potiskivanja iz uzorka vode izmjerena u uzorku vode uzete iz zidanog bunara u Tojšićima i iznosi $275 \pm 49\text{ Bq/m}^3$. Najniža vrijednost koncentracija aktivnosti radona izmjerena je u uzorku vode uzete iz izvora Bukva u Puračiću i iznosi $14 \pm 4\text{ Bq/m}^3$. Vrijednost koncentracije aktivnosti radona od $220 \pm 42\text{ Bq/m}^3$ izmjerena je u vodi sa izvora u Par Selu. Sa istog izvora voda je uzorkovana i ispitana sedam dana kasnije. Tada je koncentracije aktivnosti radona iznosila $91 \pm 25\text{ Bq/m}^3$. Meteorološki uslovi u vrijeme uzorkovanja i ispitivanja bili su u oba slučaja približno jednaki. Najgušća raspodjela koncentracije aktivnosti radona je od 51 Bq/m^3 do 130 Bq/m^3 i javlja se petnaest puta. Srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona za cijelo mjerno područje iznosi $79 \pm 20\text{ Bq/m}^3$.

Tabela 2. Vrijednosti koncentracije aktivnosti radona u vodi seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije
Table 2 The values of activity concentration of radon in the water of seismically active zone of the Tuzla region.

Lokacija	Naziv mjesta	Datum	Bunar/izvor	C_{vazduha} (Bq/m^3)	C_{vode} (mBq/l)
I-1	Dobošnica G.	5.7.2010	bunar	73 ± 20	731
I-2	Kruševica	5.7.2010	izvor	18 ± 8	158
II-3	Miričina	5.7.2010	bunar	27 ± 10	252
III-4	Mramor, Stube	8.7.2010	izvor	66 ± 18	658
III-5	Dobrnja - 1	8.7.2010	bunar	130 ± 32	1326

III-6	Dobrnja - 2	8.7.2010	bunar	51 ± 18	502
III-7	Slavinovići banja	14.7.2010	term. izvor	57 ± 25	565
III-8	Požarnica	14.7.2010	izvor	100 ± 28	1013
IV-9	Tojšići	14.7.2010	bunar	275 ± 49	2838
V-10	Vukovije	14.7.2010	bunar	131 ± 35	1336
V-11	Par Selo - 1	14.7.2010	izvor	91 ± 25	919
V-12	Dubrave	6.7.2010	bunar	84 ± 20	846
V-13	Par Selo - 2	6.7.2010	izvor	220 ± 42	2265
VII-14	Lukavac, Petrak -1	2.7.2010	izvor	74 ± 20	742
VII-15	Lukavac, Hanić	2.7.2010	izvor	73 ± 20	731
VII-16	Lukavac, grad	2.7.2010	grad. vodov.	38 ± 12	366
VII-17	Lukavac, Petrak -2	2.7.2010	izvor	31 ± 8	293
VII-18	Turija, Palestina	5.7.2010	bunar	32 ± 11	304
VII-19	Modračko jezero	5.7.2010	jezero	27 ± 10	252
VII-20	Ljubače	6.7.2010	bunar	125 ± 31	1274
VII-21	Priluk	10.7.2010	bunar	84 ± 23	846
VII-22	Ljubače, AB	10.7.2010	bunar	108 ± 27	1096
VII-23	Lukavac, Modrac	7.7.2010	izvor	27 ± 6	252
VII-24	Lukavac, Tabaci	7.7.2010	bunar	16 ± 5	137
VII-25	Lukavac, Risto	7.7.2010	bunar	81 ± 20	815
VII-26	Puračić, Bukva	7.7.2010	izvor	14 ± 4	116

Srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona u kućama u Republici Hrvatskoj prema istraživanjima koje je 2005. godine izvršio Radolić V. i ostali, iznosila je 68 Bq/m³. [6]

Budući da referentni nivo za pitku vodu iz javnih gradskih vodovoda, prema preporuci Evropske komisije iz 2001. godine, iznosi 100 Bq l⁻¹ [5] vidljivo je da koncentracija radona u vodi seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije, u prosjeku, ima četrnaest puta niže vrijednosti te stoga korištenje ove vode za piće ne predstavlja značajan rizik za javno zdravlje stanovništva. Rizik smrtnosti pri nastanku karcinoma želuca za stanovništvo seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije iznosi 1,2·10⁻⁵ pa će, prema primijenjenom dozimetrijskom modelu, jedan čovjek tokom svog očekivanog života oboljeti od karcinoma želuca koji će se razviti zbog ingestije radona konzumacijom vode iz ovih bunara i izvora. Faktor konverzije za procjenu efektivne radonske doze uslijed ingestije vode iznosi 0,35·10⁻⁸ Sv/Bq [2] pa uz pretpostavku da pojedinac popije dnevno 2 litre vode sa ovog područja, godišnja efektivna doza iznosi H=14,2 μSv/god.

ZAKLJUČAK

Promjene aktivnosti koncentracije radona u vodi, kako sezonske tako i dnevne, uglavnom su povezane sa promjenama meteoroloških parametara (temperatura, atmosferski pritisak i vlažnost).

Kontinuiranim mjerenjem aktivnosti koncentracije radona u zemljištu kao i u podzemnim vodama u jednakim, kratkim vremenskim intervalima u dužem periodu mjerenja dobili bi se rezultati koji predstavljaju vremenske serije aktivnosti koncentracije radona. Analizom dobijenih vremenskih serija utvrdili bi se određeni periodici koji se mogu objasniti upravo varijacijama meteoroloških parametara. Anomalije u vremenskim serijama mjerenja aktivnosti koncentracije radona se mogu dovesti u vezu sa geodinamičkim procesima u zemljištu. Jedan od tih procesa predstavlja i zemljotres.

Povećani nivo radona (²²²Rn) u bušenim i kopanim bunarevima kao i dubinskim izvorima može biti predznak potresa. Iako radon ima relativno kratko vrijeme poluraspada (T_{1/2} = 98 sati), malo je

vjerovatno da će se iscijediti do površine kroz stijene iz dubine na kojoj se seizmička aktivnost događa. Međutim, radon je vrlo topiv u vodi i može se stoga pratiti u bunarima i izvorima. Često nivo radon u takvim izvorima pokazuju reakcije na seizmičke događaje pa su u svijetu, na ovaj način mnogi pratili potresna predviđanja.

Eksperimentalno je utvrđena nagla promjena u koncentraciji radona prije zemljotresa u velikom broju slučajeva. Takođe je evidentno da je još uvijek nemoguće na osnovu takvog radonskog signala predvidjeti ni vrijeme ni tačno mjesto epicentra zemljotresa. Svakako je nedovoljno postojanje jednog mjernog mjesta u već definisanim seizmički aktivnim područjima. Za neka ozbiljnija istraživanja mora postojati bar nekoliko mjernih stanica. Uz to treba simultano pratiti i druge geofizičke parametre pa tek na osnovu ozbiljne statističke analize donositi relevantne zaključke.

Rezultati istraživanja u ovom radu imaju višestruku namjenu. Prevažodno su namijenjeni za kartografiju i prognozu seizmičkih aktivnosti ispitivanog područja. Samim tim doprinose izradi mape prirodne radioaktivnosti Bosne i Hercegovine. Ovo je također temelj za sveobuhvatan radon monitoring seizmičkih aktivnosti na području Tuzlanske regije, Bosne i Hercegovine i susjednih država.

Bosna i Hercegovina i Tuzlanska regija su područja s umjerenom manifestacijom geoloških i seizmičkih opasnosti. Geološka i geomorfološka raznolikost prostora na specifičan način utiče na opasnosti od potresanja. Potresi su najopasniji među njima.

LITERATURA

- [1] Protection against Radon-222 at Home and at Work. (1994). International Commission on Radiological Protection (ICRP). Pergamon Press, ICRP Publication 65.
- [2] National Academy of Science (NAS). Report of the Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC. 1999.
- [3] Fleischer RL. Radon: Overview of Properties, Origin and Transport, In: Durrani SA, Ilić R, Eds. Radon measurements by etched track detectors, World Scientific, Singapore, 3-18; 1997. http://dx.doi.org/10.1142/9789812830197_0001 **crossref**, PMID:9403248
- [4] AlphaGUARD PQ2000/MC50 Multiparameter Radon Monitor.0 Characterisation of its physical properties under normal climatic and severe environmental conditions, User manual, Genitron Instruments, Germany, 1998.
- [5] European Union Commission Recommendation on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. (2001). Office Journal of the European Community. Wiena. L 344:85-88.
- [6] Radolić, V., Vuković, B., Stanić, D., Katić, M., Faj, Z., Šuveljak, B., Lukačević, I., Faj, D., Lukić, M., Planinić, J. (2006). J Radioanal Nucl Chem. Zagreb. National survey of indoor radon levels in Croatia. 269:87-90. <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-006-0234-2> **crossref**