

*Originalan naučni rad*  
*Original scientific paper*  
*UDC: 539.16:699.841(497.6 Tuzla)*  
*DOI: 10.5825/afts.2012.0407.019S*

## ANALIZA KONCENTRACIJE RADONA U SEIZMIČKI AKTIVNIM ZONAMA TUZLANSKE REGIJE

Spona Uzeir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JU „Gimnazija Lukavac“ Lukavac, E-mail: [uzeir.spona@bih.net.ba](mailto:uzeir.spona@bih.net.ba)

### REZIME

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije. Od velikog broja metoda za mjerenje koncentracije aktivnosti radona izabrana je metoda trag detektora tipa CR39, koji su pogodni za dugotrajna mjerenja radona, od nekoliko dana do više mjeseci, pri čemu dobijeni rezultati predstavljaju srednje koncentracije radona na datoj lokaciji za određeni interval mjerenja. Dat je i prikaz procedure rada sa trag detektorima prilikom mjerenja koncentracije aktivnosti radona. Mjerenja su vršena od 26.11.2009. do 07.06.2010. godine. Ekspozirani detektori su obrađeni na RadoSys sistemu u Laboratoriji za detekciju, dozimetriju i zaštitu od jonizujućeg zračenja Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli.

Ključne riječi: *radon, detekcija, seizmika*

## THE ANALYSIS OF THE CONCENTRATION OF RADON IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES IN THE TUZLA REGION

### SUMMARY

This paper presents the results of measurements of radon activity concentration in the seismically active zones of the Tuzla region. Among a large number of methods for measuring the activity concentration of radon, the method 'track detectors CR39 type' is chosen, suitable for long-term measurements of radon from a few days to several months, with the results that represent a mean radon concentration at a given location for a particular measurement interval. The review of the procedures for working with track detectors for measurement of radon activity concentration has also been elaborated in the paper. Measurements were performed from 26.11.2009 to 07.06.2010. The exposed detectors were processed on RadoSys system in the Laboratory for the detection, dosimetry and protection against ionizing radiation at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Tuzla.

Keywords: *radon, detection, seismic*

### UVOD

Promjene koncentracije aktivnosti radona u prostorijama su povezane sa promjenama meteoroloških parametara (temperatura, atmosferski pritisak i vlažnost). Takođe je od velikog značaja i način na koji se data prostorija provjetrava.

Stalnim mjerenjem koncentracije aktivnosti radona u vazduhu u prizemnim zatvorenim prostorijama kao i u podzemnim vodama u dužem vremenskom periodu dobiju se podaci koji predstavljaju vremenske serije koncentracije radona. Analizom dobiveni rezultati se mogu objasniti varijacijama meteoroloških parametara. Međutim, ukoliko se javljaju nepravilnosti u vremenskim serijama mjerenja koncentracije aktivnosti radona, to bi se moglo dovesti u vezu sa geodinamičkim procesima u zemljištu. Jedan od tih procesa predstavlja i zemljotres. Već više od trideset godina traju istraživanja na temu naglih promjena (iznenadnog povećanja ili smanjenja) koncentracije radona koja prethodi zemljotresu na određenoj lokaciji. Nisu jasni sami mehanizmi te pojave, ali već sada postoji velika baza podataka i raznih teorija. Da je tema više nego aktuelna pokazano je u aprilu 2009. godine, nakon izuzetno razornog zemljotresa koji se dogodio u Italiji (06. aprila u 03:30 sati, jačine 6,3 stepena Rihterove skale u oblasti Abruzzo). Tada je seizmolog Đampaolo Đulijani, nekoliko nedjelja prije zemljotresa predvidio da će se on dogoditi u okolini grada Akvile. Đulijani, koji je svoje predviđanje zasnovao na praćenju koncentracije radona oko seizmički aktivnih područja, upozorio je policiju na opasnost, ali je bio prinuđen da svoje istraživanje skine sa interneta, kako ne bi izazivao paniku.[1]

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije. Od velikog broja metoda za mjerenje koncentracije aktivnosti radona izabrana je metoda trag detektora tipa CR39, koja je pogodna za dugotrajna mjerenja radona, od nekoliko dana do više mjeseci, pri čemu dobijeni rezultati predstavljaju srednje koncentracije radona na datoj lokaciji za određeni interval mjerenja. Prikaz procedure rada sa trag detektorima prilikom mjerenja koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije i rezultati istraživanja dati su u ovom radu. Mjerenja su vršena od 26. 11. 2009. do 07. 06. 2010. godine.

## MATERIJAL I METODE

Cilj rada je istraživanje koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnom zonama Tuzlanske regije.

Mjerenjem koncentracije aktivnosti radona u zemljinom gasu 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.

Istraživanja su se obavila metodom detektora čvrstih tragova alfa čestica iz raspada radona  $^{222}\text{Rn}$ . (CR-39 detektori) .

Na slici 1. prikazan je RSKS tip radon detektora koji se koristio u ovom radu. Uobičajeno vrijeme izlaganja detektora je 3 do 6 mjeseci. Primjenjiv je također i na kraće periode, do 20 dana, uz napomenu da rezultati testiranja imaju veću devijaciju zbog kratkog vremena izlaganja. Supstanca za detektovanje alfa čestica je PADC/CR-39 detektor. Detektor je čvrste građe sa dodatnim osiguranjem od udara, a također ima elektrostatičku zaštitu jer je difuziona komora napravljena od vodljive plastike. Veličina CR-39 detektora iznosi  $100\text{ mm}^2$ . Dimenzije i izgled date su na slici 1.

Vrijeme boravka detektora na izabranim lokacijama je bilo od 91 do 191 dan. Svaki detektor ima identifikacioni broj i bar kod. Identifikacioni broj je utisnut na detektor, a etiketa sa brojem se lijepi na zaštitno kućište detektora. Kod postavljanja detektora na terenu treba voditi računa o ovome i lokacije pomno bilježiti.

Mehanizam nastanka tragova u dielektričkim sredstvima

Funkcionisanje detektora nuklearnih tragova temelji se na činjenici da teške nabijene čestice uzrokuju prostornu jonizaciju pri prolasku kroz promatrano sredstvo. Tako npr.  $\alpha$ -čestica s energijom od 6 MeV, stvara oko 150 000 parova jona u celuloznom nitratu. S obzirom da je domet  $\alpha$ -čestica s

energijom od 6 MeV u tom materijalu svega oko 40  $\mu\text{m}$ , to znači da je stvoreno prosječno 3700 jonskih parova po  $\mu\text{m}$ , ili 3 - 4 para po nm. Dakle, jedna  $\alpha$ -čestica jonizuje gotovo sve molekule u blizini svoje putanje. Taj primarni jonizacijski proces duž staze  $\alpha$ -čestica otvara seriju njenih hemijskih procesa, što rezultira stvaranjem slobodnih hemijskih radikala koji se još nazivaju latentni tragovi. Ti „latentni tragovi“ mogu opstati čak i na visokim temperaturama, ovisno o sredstvu i intenzitetu jonizacije.



Slika 1. Difuzijska komora PADC/CR-39 detektora  
Figure 1. Diffusion chamber detector PADC/CR-39

Efekt traga postoji u mnogim dielektričkim materijalima, a naročito je izražen u materijalima s dugaćkim molekulama, kao što su npr. celulozni nitrati, različiti polikarbonati te amorfni materijali (staklo). Valja naglasiti da efekt traga nastaje samo u dielektričkim sredstvima dok se u vodljivim materijalima i poluvodičima odvija proces rekombinacije pa latentni tragovi nisu stabilni. Nadalje, prolaskom samo teških nabijenih čestica (težih od protona; ne  $\beta$ -čestica,  $\gamma$ -zraka) dolazi do cijepanja polimernih lanaca u dielektričkom sredstvu te nastaju latentne kvazi-kontinuirane staze koje su uočljive samo pod transmisijskim elektronskim mikroskopom (TEM), budući da su svega desetak nm u promjeru, ili manje.

Ako se dielektričko sredstvo, koje sadrži latentne tragove, izloži nekoj hemijskoj agresivnoj otopini (najčešće se koristi vodena otopina NaOH ili KOH), hemijska reakcija će biti intenzivnija duž latentnih tragova. Krajnji efekt je da hemijska otopina nagriza površinu detektorskog materijala, ali sa većom brzinom u oštećenom području. Tako nastaju tragovi čestica, uvećani za faktor  $10^2 - 10^3$ , koji se sada mogu vidjeti pod optičkim mikroskopom, a postupak se zove „nagrizanje detektora“.

Oblik i veličina (promjer) nagrizenog traga načelno ovisi o dva parametra:

- karakteristici nagrivanja u datom (plastičnom) mediju koja se opisuje „ukupnom brzinom nagrivanja“ ( $v_B$ ), a ovisi o vrsti (molarnoj masi) i temperaturi hemijskog sredstva - nagrizača te o vremenu nagrivanja i
- karakteristici interakcije nabijene čestice sa sredstvom koje se opisuje „brzinom nagrivanja tragova“ ( $v_T$ ) duž trajektorije čestice [2].

Nagrizanje detektora je osnovna metoda hemijske obrade detektora nuklearnih tragova. Obično se izvodi u termo-kontroliranoj posudi u temperaturnom području od 40 °C do 70 °C (specijalno, sve do 90°). Uobičajeno vrijeme nagrivanja je od 2 do 6 sati. Kada se molarnost reagensa nagrizačkog sredstva, vrijeme nagrivanja, kao i temperatura nagrivanja, povećavaju, također se povećava i dobivena dubina nagrivanja (traga). U određenim slučajevima, može se u nagrizačko sredstvo dodati i etilni alkohol (npr. PEW nagrivalo, koje je napravljeno od kalijevog hidroksida, etilnog alkohola i vode); alkohol povećava osjetljivost registracije kod nekih plastika (polikarbonatnih). Prilikom nagrivanja detektor se obično poredaju u proreze koji su pričvršćeni na mali stalak. Pritom su detektori razdvojeni i to ih drži na fiksnoj međusobnoj udaljenosti što je važno za cirkuliranje nagrizačke otopine oko detektora. Samo nagrivanje se može provoditi sa ili bez miješanja nagrivala (rotacijom se povećava efikasnost /brzina nagrivanja). Po završetku nagrivanja detektori se izvade, operu u tekućoj vodi kako bi se otklonio ostatak hemijskog sredstva nagrivala iz udubina tragova na detektoru. Nakon sušenja, detektori su spremni za brojanje.

Tragovi brojanja su obično u promjeru nekoliko  $\mu\text{m}$ -a, iako mogu narasti do 50  $\mu\text{m}$  ili više, nakon dugotrajnog nagrizanja.

Razvijeno je više različitih sistema za automatsko brojanje tragova, a najčešće se upotrebljavaju dvije različite metode: metoda brojanja iskara (engl. spark counting technique) i analiza slike (engl. image analyser). Prva metoda osigurava brzo i pouzdano brojanje tragova na filmu do gustoće od 5000 tr.  $\text{cm}^{-2}$ , ali zahtijeva korištenje posebne vrste LR-115 detektora kojima se može odvojiti osjetljivi film detektora od plastične baze.

Drugi način automatskog brojanja tragova koristi CCD kamere povezane s kompjuterom. Kompjuterski programi za prepoznavanje traga koriste algoritme za raspoznavanje uzorka (engl. pattern recognition) na temelju određenog, zadanog oblika. Zbog brzine brojanja i obrade rezultata pogodne su za veća istraživanja. Uz pomoć odgovarajućeg softvera, takvi sistemi mogu mjeriti prostornu gustoću nagriženih tragova, odrediti njihove dvije koordinate, površinu, statističku raspodjelu, itd.

Brojanje tragova se vrši automatski. RadoMeter 2000 jedinica je napredni automatski mikroskop s namjenskim softverom za analizu CR-39 detektora. Ona se sastoji od mikroskopa i kontrolor računala, odnosno softvera za analizu i bazu podataka.. Mikroskop je sklop visokoprecizne mehanike kako bi se postigla maksimalna učinkovitost. Na slici 2. je prikazan postupak rada pri mjerenju koncentracije radona sa CR 39 detektorom.

Za sigurnost tačnosti podataka, s vremena na vrijeme potrebno je izvršiti kalibraciju mjernog sistema. To se može izvesti upotrebom RadoCal paketa. Procesiranje detektora sa poznatom RAC vrijednosti koji su uključeni u RadoCal paket ovaj se proces može uspješno završiti. [3]



Slika 2. Redoslijed procesa testiranja radona u unutrašnjim prostorijama uz pomoć RadoSys sistema  
Figure 2 The order of the testing process of radon in indoor premises with RadoSys system

Lokacije za mjerenje su brižljivo odabrane. Korištene su karte seizmičkih rasjeda BiH i karte seizmičkih rasjeda, termalnih i drugih izvora na teritoriji Tuzlanske regije koje je izradio Geološki zavodom Bosne i Hercegovine, slika 3. Na karti su žutom bojom označeni seizmički rasjedi. Uočava se sedam rasjeda. U tabeli 1. date su lokacije rasjeda, približne dužine i broj detektora koji su postavljeni na pojedinim lokacijama. U koloni dva je data oznaka pukotine koja će se koristiti u ovom radu.

Tabela. 1. Lokacije rasjeda, interne oznake, dužine rasjeda i broj postavljenih detektora  
 Table 1. Location of faults, internal marks, fault length and number of detectors placed

	Lokacija rasjeda od-preko-do (Općina)	Interna oznaka	Dužina rasjeda (km)	Broj postavljenih detektora (kom)
1.	Dobošnica Donja – Kruševica (Lukavac)	I	4,75	4
2.	Miričina – Rašljeva – Seona (Gračanica, Srebrenik)	II	4,45	3
3.	Mramor – Dobrnja – Lipnica – Delići – Tuzla – Simin Han – Požarnica (Srebrenik, Tuzla)	III	19,15	15
4.	Gornje Hrasno – Meškovići (Kalesija)	IV	4,66	5
5.	Tojšići – Dubrave – Par Selo (Tuzla, Kalesija, Živinice)	V	9,20	5
6.	Srebrenik Gornji – Zahirovići – Lipici – Jesenice (Srebrenik)	VI	8,41	6
7.	Lubače – Šerići – Suha – Jezero Modrac – Mosorovac – Turija (Živinice, Lukavac)	VII	17,00	12
UKUPNO			67,62	50

Ukupna dužina rasjeda je oko 68 km. Detektori su postavljeni na međusobnom razmaku od oko 1400 m. Za mjesta gdje se postavljaju detektori birani su zatvorene podrumске prostorije i objekti starije gradnje. Prosječna starost objekata u kojima su postavljani detektori bila je 35 godina. Detektori su postavljani na visini od oko 1,5 m od poda prostorije. Postavljanje i boravak detektora na lokacijama je vršeno u mjesecima novembru, decembru, januaru i februaru, dakle u zimskom vremenskom periodu kada su temperature niže.



Slika 3. Karta Tuzlanske regije sa seizmičkim rasjedima i lokacijama detektora  
 Figure 3 Map of Tuzla region with seismic faults and locations of detectors

## REZULTATI I RASPRAVE

U tabeli 2. su prikazani rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije. Kolona 1, 2 i 3 povezuje identitet lokacije i detektora i treba je povezati sa Slikom 3. U koloni 4 i 5 su prikazani prvi i zadnji dan izlaganja detektora, a u koloni 6 vrijeme izlaganja detektora u danima. Kolona 7 daje rezultate mjerenja koncentracije radona na posmatranim lokacijama i vremenu, dok kolona 8 daje standardna odstupanja.

Greška pri mjerenju koncentracije aktivnosti radona računa se prema formuli:

$$\sigma = C \sqrt{\sigma_{\rho}^2 + \sigma_K^2 + \sigma_{\tau}^2}$$

gdje je:

$$\sigma_{\rho} = \frac{1}{\sqrt{N}} + 0.004$$

- greška u brojanju tragova, a N-broj tragova  $\alpha$  čestice u detektoru,  $\sigma_K$  -

greška kalibracionog koeficijenta ( za CR-39 iznosi 0,18),  $\sigma_{\tau}$  - vrijeme trajanja transporta/vrijeme trajanja ekspozicije (greška zbog transporta dozimetra) [4]

Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (International Commission on Radiological Protection – ICRP) preporučuje da koncentracija unutrašnjeg radona u vazduhu, u ravnoteži sa njegovim potomima raspada, u novim kućama ne bi trebalo da prelazi 200 Bq/m<sup>3</sup>, a u starim kućam 400 Bq/m<sup>3</sup>, dok je za radne prostore preporučljivi akcioni (interventni) nivo opsega (500 – 1500) Bq/m<sup>3</sup>. [5]

Tabela 2. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u seizmički aktivnim zonama Tuzlanske regije  
Table 2. Results of measurements of radon activity concentration in the seismically active zones in Tuzla region

Br. Rasjeda	Br. detek (br. lokacije)	Kod detekt. (ID broj)	Prvi dan izlag. (datum)	Zadnji dan izlag. (datum)	Expoz. vremena (dani)	REZULTAT (Bq/m <sup>3</sup> )	Devijacija (Bq/m <sup>3</sup> )
I	1	L13403	26.11.2009	5.6.2010	191	27,15	5,5
I	2	L13470	26.11.2009	5.6.2010	191	31,03	6,2
I	3	L13471	26.11.2009	5.6.2010	191	14,68	3,2
I	4	L14472	26.11.2009	5.6.2010	191	14,68	3,2
<i>Srednje vrijednosti za I seizmičku pukotinu</i>					191	21,89	4,5
II	5	L13473	26.11.2009	30.5.2010	185	12,11	2,7
II	6	L14456	26.11.2009	3.6.2010	189	19,44	4,0
II	7	L14457	26.11.2009	3.6.2010	189	22,52	4,6
<i>Srednje vrijednosti za II seizmičku pukotinu</i>					187,67	18,02	3,8
III	8	L14458	5.12.2009	30.5.2010	176	17,68	3,8
III	9	L14467	5.12.2009	30.5.2010	176	26,41	5,4
III	10	L14461	5.12.2009	30.5.2010	176	37,11	11,3
III	11	L14459	5.12.2009	30.5.2010	176	35,67	11,1
III	12	L14460	5.12.2009	30.5.2010	176	54,57	14,9
III	13	L14461	5.12.2009	30.5.2010	176	41,60	8,2
III	14	L14463	5.12.2009	30.5.2010	176	12,88	2,9
III	15	L14464	12.12.2009	28.5.2010	167	52,29	10,1
III	16	L14465	12.12.2009	28.5.2010	167	14,26	3,2
III	17	L14466	12.12.2009	28.5.2010	167	18,23	2,6
III	18	L14468	12.12.2009	28.5.2010	167	30,83	6,2
III	19	L14469	12.12.2009	28.5.2010	167	21,58	10,5

Nastavak tabele 2.

Br. Rasjeda	Br.detek (br. lokacije)	Kod detekt. (ID broj)	Prvi dan izlag. (datum)	Zadnji dan izlag. (datum)	Expoz. vremena (dani)	REZULTAT (Bq/m <sup>3</sup> )	Devijacija (Bq/m <sup>3</sup> )
III	20	L13470	26.11.2009	5.6.2010	191	31,62	6,3
III	31	L14483	6.1.2010	8.6.2010	153	40,71	8,1
III	32	L14484	6.12.2009	3.6.2010	179	12,23	2,8
<i>Srednje vrijednosti za III seizmičku pukotinu</i>					172,67	29,85	7,2
IV	21	L14472	26.11.2009	5.6.2010	191	14,68	3,2
IV	22	L14473	12.12.2009	28.5.2010	167	14,03	3,1
IV	23	L14474	12.12.2009	28.5.2010	167	13,20	3,7
IV	24	L14475	12.12.2009	28.5.2010	167	12,92	2,9
IV	25	L14476	12.12.2009	28.5.2010	167	16,10	3,5
<i>Srednje vrijednosti za IV seizmičku pukotinu</i>					171,8	14,19	3,3
V	26	L14478	12.12.2009	28.5.2010	167	19,48	4,1
V	27	L14479	12.12.2009	28.5.2010	167	24,32	5,0
V	28	L14480	12.12.2009	28.5.2010	167	19,78	4,2
V	29	L14481	12.12.2009	28.5.2010	167	33,13	6,6
V	30	L14482	12.12.2009	28.5.2010	167	12,42	2,8
<i>Srednje vrijednosti za V seizmičku pukotinu</i>					167	21,83	4,6
VI	33	L14485	28.2.2010	30.5.2010	91	25,06	5,6
VI	34	L14486	28.2.2010	30.5.2010	91	17,43	4,2
VI	35	L14487	28.2.2010	30.5.2010	91	40,53	8,5
VI	36	L14488	28.2.2010	30.5.2010	91	34,86	7,4
VI	37	L14490	28.2.2010	30.5.2010	91	30,83	6,7
VI	38	L14489	28.2.2010	30.5.2010	91	27,86	6,1
<i>Srednje vrijednosti za VI seizmičku pukotinu</i>					91	29,43	6,43
VII	39	L14492	28.2.2010	30.5.2010	91	13,70	3,5
VII	40	L14494	28.2.2010	30.5.2010	91	10,98	3,0
VII	41	L14495	28.2.2010	30.5.2010	91	77,26	15,2
VII	42	L14496	28.2.2010	30.5.2010	91	60,37	12,1
VII	43	L14497	28.2.2010	30.5.2010	91	47,71	9,8
VII	44	L14498	28.2.2010	30.5.2010	91	64,17	12,8
VII	45	L14499	28.2.2010	30.5.2010	91	72,19	14,3
VII	46	L14500	28.2.2010	30.5.2010	91	52,72	10,7
VII	47	L14501	28.2.2010	30.5.2010	91	54,63	11,1
VII	48	L14502	28.2.2010	30.5.2010	91	50,35	10,3
VII	49	L14503	5.3.2010	7.6.2010	94	45,78	9,4
VII	50	L14504	5.3.2010	2.6.2010	89	79,55	15,6
<i>Srednje vrijednosti za VII seizmičku pukotinu</i>					91,08	52,45	10,64
<i>Srednje vrijednosti za cijelo mjerno područje</i>					145	31,51	6,85

Koncentracija radona na mjernim lokacijama ima različite vrijednosti. Maksimalna vrijednost je na lokaciji VII/45 u Mosorovcu – Lukavac i iznosi  $72,19 \pm 12,4$  Bq/m<sup>3</sup>. Minimalna koncentracija radona u posmatranom vremenu izmjerena je na lokaciji VII/40 u Ljubačama 2 – Živinice i iznosi  $10,98 \pm 3,0$  Bq/m<sup>3</sup>. Srednja vrijednost koncentracije radona na mjeranom području je  $31,51 \pm 6,85$  Bq/m<sup>3</sup>. U tabeli su također date srednje vrijednosti koncentracije radona na pojedinim rasjedima. Najveća srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona je na rasjedu VII (Lubače – Šerići – Suha – Jezero Modrac – Mosorovac – Turija) i iznosi  $52,45 \pm 10,64$  Bq/m<sup>3</sup>. Najniža srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona je na rasjedu IV (Gornje Hrasno – Meškovići), Kalesija i iznosi  $14,19 \pm 3,3$  Bq/m<sup>3</sup>.

Na seizmičkom rasjedu Dobošnica Donja – Kruševica postavljena su četiri detektora. Dužina rasjeda je 4,75 km. Srednja vrijednost koncentracija aktivnosti radona na ovom rasjedu iznosi  $21,89 \pm 4,5$  Bq/m<sup>3</sup>. Najveća koncentracija aktivnosti radona izmjerena je na mjernom mjestu Dobošnica – Hamzići i iznosi  $31,03 \pm 6,2$  Bq/m<sup>3</sup>. Upravo na ovom području, na ovoj mjernoj lokaciji, je bio epicentar zemljotresa koji se dogodio 29. 10. 1974. godine.

Na seizmičkom rasjedu Miričina – Rašljeva – Seona (*Gračanica, Srebrenik*); čija je dužina 4,45 km postavljena su tri detektora. Najveća koncentracija aktivnosti radona izmjerena je na mjernoj lokaciji II – 7 u mjestu Seona općina Srebrenik i iznosi  $22,52 \pm 4,6$  Bq/m<sup>3</sup>. Najniža vrijednost koncentracije aktivnosti radona izmjerene su na mjernoj lokaciji II – 5 (Miričina Gornja) i iznosi  $12,11 \pm 2,7$  Bq/m<sup>3</sup>. Srednja vrijednost koncentracija aktivnosti radona na ovom rasjedu iznosi  $18,02 \pm 3,8$  Bq/m<sup>3</sup>. Seizmički rasjed I i II su locirani na sjeverozapadnom dijelu Tuzlanske regije, na međusobnom rastojanju od oko 3 km i međusobno su paralelni. Srednje vrijednosti koncentracije aktivnosti radona su približno jednake.

Treći seizmički rasjed je najduži (19,15 km) i proteže se centralnim dijelom Tuzlanske regije od Mramora – Dobrnje – Lipnice – Delićia – Tuzle – Simin Hana do Požarnice (*Srebrenik, Tuzla*). Na ovom rasjedu postavljeno je 15 detektora. Srednja vrijednost koncentracija aktivnosti radona na ovom rasjedu iznosi  $29,85 \pm 7,2$  Bq/m<sup>3</sup>. Najveće koncentracije aktivnosti radona izmjerene su na lokacijama III–12 (Lipnica 2), III–13 (Lipnica 3), III–15 (Tuzla 1) i III–21 (Tuzla, Stari Tušanj) i iznose  $54,57 \pm 14,9$  Bq/m<sup>3</sup>;  $41,60 \pm 8,2$  Bq/m<sup>3</sup>;  $52,29 \pm 10,1$  Bq/m<sup>3</sup> i  $40,71 \pm 8,1$  Bq/m<sup>3</sup> respektivno. Mjerni detektori na ovom području su bili postavljeni u objektima ispod kojih su rudničke jame i prostorije te je moguće da je to uzrokovalo ovako visoke koncentracije aktivnosti radona. Relativno niske koncentracije aktivnosti radona na ovom mjernom području izmjerene su na lokacijama III-14 (Delići) i III-22 (Tuzla PMF);  $12,88 \pm 2,9$  Bq/m<sup>3</sup> i  $12,23 \pm 2,8$  Bq/m<sup>3</sup>. Na obje ove lokacije detektori su postavljeni u betonskim podrumima pa je moguće da je konstruktivni beton manje porozan i sprečava difuziju radona u prostorije.

Na seizmičkom rasjedu IV (Gornje Hrasno – Meškovići (*Kalesija*)) koje je dugo 4,66 km postavljeno je 5 mjernih detektora. Na ovim mjernim lokacijama izmjerene koncentracije aktivnosti radona su približno iste i u granicama od  $12,92$  Bq/m<sup>3</sup> do  $16,10$  Bq/m<sup>3</sup> sa srednjom vrijednosti  $14,19 \pm 3,3$  Bq/m<sup>3</sup>.

I na seizmičkom rasjedu V; Tojšići – Dubrave – Par Selo (*Tuzla, Kalesija, Živinice*) postavljeno je pet detektora. Ovaj rasjed je dug 9,2 km. Najveća koncentracija aktivnosti radona izmjerena je na mjernom mjestu V-29 u Gornjim Dubravama i iznosi  $33,13 \pm 6,6$  Bq/m<sup>3</sup>, a najniža  $12,42 \pm 2,9$  Bq/m<sup>3</sup> izmjerena u D. Dubravama na mjernom mjestu V-30. Srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona na ovom rasjedu iznosi  $21,83 \pm 4,6$  Bq/m<sup>3</sup>.

Srednja vrijednosti koncentracije aktivnosti radona [Bq/m<sup>3</sup>] na seizmičkom rasjedu VI, Srebrenik Gornji – Zahirovići – Lipici – Jesenice (*Srebrenik*) iznosi  $29,43 \pm 6,43$  Bq/m<sup>3</sup>. Ovaj rasjed je dužine 8,41 km i nalazi se na sjevernom dijelu Tuzlanske regije. Najveća koncentracija aktivnosti radona na ovom rasjedu je  $40,53 \pm 8,5$  Bq/m<sup>3</sup> izmjerena na mjernom mjestu VI-35 u Zahirovićima, a najniža  $17,43 \pm 4,2$  Bq/m<sup>3</sup> izmjerena na mjernom mjestu VI-34 Brezik 2.



Seizmički rasjed VII, Ljubače – Šerići – Suha – Jezero Modrac – Mosorovac – Turija (Živinice, Lukavac) je lociran na jugu Tuzlanske regije i dug je 17 km. Ovdje je postavljeno 10 detektora. Dva detektora (VII-49 i VII-50) su postavljena van ovog rasjeda i služe kao kontrolni detektori. Detektor VII-50 postavljen je na lokaciji Lukavac 2 u podrumu stare kuće koja je građena 1934. godine uz izvor koji se nalazi u podrumu te kuće. Za očekivat je bilo da koncentracija aktivnosti radona bude veća zbog blizine izvora, starosti kuće, podrumске prostorije i zemljanog poda što je i potvrđeno mjerenjem ( $79,55 \pm 15,6 \text{ Bq/m}^3$ ). Druga kontrolna lokacija; VII-49, Lukavac 1 je, također, imala očekivani rezultati ( $45,78 \pm 9,4 \text{ Bq/m}^3$ ) jer je detektor postavljen u podrumskoj prostoriji koja je neprovjetravana. Srednja vrijednosti koncentracije aktivnosti radona na ovom seizmičkom rasjedu iznosi  $52,45 \pm 10,64 \text{ Bq/m}^3$ . Ostale vrijednosti koncentracije aktivnosti radona na ovom seizmičkom rasjedu su od  $47,71 \pm 9,8 \text{ Bq/m}^3$  (VII-43, Šerići) do  $77,26 \pm 15,2 \text{ Bq/m}^3$  (VII-41, Suha).

## ZAKLJUČAK

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. Zbog duge povijesti rudarstva, porasta broja stanovništva, urbanog razvoja, i klimatskih promjena geološke opasnosti povećavaju opasnost za održivi razvoj. Potresi spadaju u red potencijalno najopasnijih među njima.

Sistematsko i kontinuirano mjerenje koncentracije radona u zemljištu i vazduhu u podrumskim i podzemnim, zatvorenim prostorijama može ukazati na određene promjene i geodinamičke procese koji dovode do pojave zemljotresa na određenoj lokaciji. Promjene aktivnosti koncentracije radona u podrumskim i zatvorenim prostorijama, kako sezonske tako i dnevne, uglavnom su povezane sa promjenama meteoroloških parametara (temperatura, atmosferski pritisak i vlažnost). Takođe je od velikog značaja i način na koji se data prostorija provjetrava.

Kontinuiranim mjerenjem aktivnosti koncentracije radona u vazduhu u podrumskim zatvorenim prostorijama (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. Više godina traju istraživanja na temu naglih promjena (iznenadnog povećanja ili smanjenja) aktivnosti koncentracije radona koja prethodi zemljotresu na određenoj lokaciji. .

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.

Mjerenjem radona u Zemljinom gasu mogu se dobiti važne informacije o geološkim karakteristikama ispod površine zemlje, te prisustvo minerala, nafte i zemnog gasa. U ovom radu je istražena koncentracija aktivnosti radona u vazduhu seizmički aktivnih zona Tuzlanske regije. Detektori su postavljani u zatvorenim podrumskim prostorijama uglavnom starijih kuća koje su bez bilo kakvog poda. Na ovaj način se ostvaruje realnije stanje prisutnosti radona koji dolazi iz unutrašnjosti zemlje.

Meteorološki parametri mogu znatno uticati na promjenu aktivnosti koncentracije radona tokom mjerenja. Ovo je posebno izraženo ako je vrijeme boravka detektora na mjernim lokacijama kratko. Da bi se ublažio ovaj problem detektori su na mjernim lokacijama ostavljani oko šest mjeseci tako da su se meteorološki parametri višestruko mijenjali.

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.

#### LITERATURA

- [1] Potres u L'Aquili 2009. (2009). [http://hr.wikipedia.org/wiki/Potres\\_u\\_L'Aquili\\_2009](http://hr.wikipedia.org/wiki/Potres_u_L'Aquili_2009).
- [2] Durrani, S.A. & Radomir, I. (1997). Radon Measurements by Etched Track Detectors. Singapore. Alpha-Particle Etched Track Detectors. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [3] G. Shani G. (1991). Radiation Dosimetry Instrumentation and Methods. Israel. Ben-Gurion University, Ben– Sheva.
- [4] Supek I. (1960). Moderna fizika i struktura materije. Beograd. Tehnička knjiga.
- [5] Genrich V. (1996). Long-term observation of the natural gamma beckground radiation. Vienna, Austria. IRPA 9, International Congress on Radiation Protection.