

**MJERENJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI SPOLJAŠNJEG
RADONA U VAZDUHU GRADA MOSTARA I BLIŽE OKOLINE
POMOĆU NUKLEARNIH TRAG DETEKTORA**

**MEASURING OF OUTDOOR-RADON ACTIVITY CONCENTRACION
IN AIR OF MOSTAR CITY AND ITS NEARER SURROUNDINGS
USING NUCLEAR TRACE DETECTOR**

Mr. sci. Zejnil Trešnjo, dipl.fizičar
Ministarstvo trgovine, turizma i zaštite okoliša HNK-a
Mostar

Dr. sci. Feriz Adrović, vanredni profesor
Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet
Tuzla

REZIME

Mjerenja koncentracije aktivnosti radona u životnoj sredini izazivaju veliku pažnju naučnih i stručnih krugova. Izlaganje stanovništva visokim koncentracijama radona, kao i njegovim produktima raspada, dovodi do ozračivanja prvenstveno organa za disanje. Radioaktivni gas radon, poslije pušenja, drugi je najveći uzročnik kancera pluća. Za pouzdanu prospekciju koncentracije aktivnosti radona u životnoj sredini, prvi ulazni parametar je poznavanje koncentracije spoljašnjeg radona u zraku. Mjerenja koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona vršena su u gradu Mostaru i njegovoj bližoj okolini. Primijenjena je metoda nuklearnih trag detektora. Dobijeni rezultati u ovom radu koristiće se kao baza podataka pri izradi mape koncentracije aktivnosti radona Bosne i Hercegovine.

Ključne riječi: radon, zrak, nuklearni trag detektor, Mostar

SUMMARY

Measuring of radon activity concentration in the living environment attracted vast majority of scientists and experts. The exposure of the population to high concentrations of radon, and its daughters, leads to severe radiation or respiratory organs. Radioactive gas radon, after smoking, is the second major cause of lung cancer. For reliable prospecting of radon activity concentration in living environment, the first input parameter is the concentration of outdoor-radon in the air. Measurement of outdoor-radon activity concentration was made in the City of Mostar and its nearer surroundings. The method of nuclear trace detectors was used. The obtained results in this work will be used as database for the creation of the concentration map of concentration of Radon activity of Bosnia and Herzegovina.

Key words: radon, air, nuclear trace detector, Mostar

1. UVOD

Radon je radioaktivan, plemenit gas, hemijski inertan i zato pokretan na normalnoj temperaturi. To je bezbojan gas, bez mirisa, ali mu svojstvo radioaktivnosti omogućava da se lako detektuje i mjeri njegova koncentracija. Tri izotopa radona, ^{222}Rn (Radon), ^{220}Rn (Toron) i ^{219}Rn (Aktinij) su produkti raspada veoma dugoživjećih radioizotopa urana i torujuma (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th), koji su od početka prisutni bili na Zemlji a još i danas se mogu naći u manjim tragovima u svim stijenama kao i u zeljenom tlu, pri čemu se ^{238}U i ^{232}Th javljaju u znatno većim koncentracijama nego ^{235}U . Aktinij, iz ovog niza raspada, ima kratko vrijeme poluraspada od 3,96 s, i zbog toga se raspada pretežno u tlu, a zbog dužeg vremena transporta jedva da se i pojavljuje u zraku. Zbog toga, sa aspekta zaštite od zračenja, ovaj element nije od velikog značaja i uopšte se ne razmatra. Isto tako i toron, sa svojim kratkim vremenom poluraspada od 55s, je od malog značaja za zaštitu od zračenja u odnosu na radon, čije vrijeme poluraspada iznosi 3,825 dana. Radonovi izotopi se dalje raspadaju preko izotopa polonijuma, olova, bizmuta i talijuma u stabilne izotope olova. Produkti raspada radona nisu plemeniti gasovi nego metalni radionuklidi, koji su nakon njihovog stvaranja, po pravilu pozitivno naelektrisani. Oni se lako odvajaju na površinama i talože se u zraku pretežno na aerosolima (prečnik od $0,01\mu\text{m}$ do $10\mu\text{m}$). Samo jedan relativno mali udio ostaje kao "nenataloženi" produkt raspada u zraku.

Radon i njegovi raspadni produkti se, nataloženi na čestice prašine, prilikom disanja, deponiraju u plućima gdje dovode do zračenja bronhija i osjetljivih površinskih slojeva plućnog tkiva. Ove radioaktivne čestice imaju tako veliku energiju da mogu izazvati oštećenja drugih atoma ili promjene grupa atoma (molekula) koje sa njima dođu u dodir. Pri tome mogu nastati atomi (joni) i molekularni odlomci (radikali) koji mogu, sa svoje strane, ponovo uticati na promjene drugih atoma i molekula. Tako čovjek postaje izložen pored daljnjeg zračenja izvana i onim iznutra. Na opterećenje radioaktivnim zračenjem ljudski organizam se ne može navići i uključiti odbrambene mehanizme kao u mnogim drugim situacijama, te dolazi do oboljenja. Svaku primljenu dozu zračenja ljudski organizam nije u stanju da na bilo koji način izbaci, ono se taloži i deponira. Može se reći da se štetni efekti na ljudski organizam od radioaktivnog zračenja ne samo sabiru, oni se umnožavaju. Ova ekspozicija može da prouzrokuje rak pluća ako su povećani nivoi izloženosti radonu i njegovim produktima raspada. Ekspozicija od radona i njegovih produkata raspada je nakon pušenja drugi najveći faktor rizika za rak pluća.

2. RADON U VAZDUHU

Od ukupnog zračenja u našoj životnoj sredini 50% doze zračenja kojoj su ljudi izloženi potiče od elementa radona i njegovih produkata raspada, dok 20 % izloženosti dolazi od gama zračenja iz zemlje, 12 % od vode i hrane, a 18 % od kosmičkog zračenja.

Poznato je da se radon nagomilava u šupljinama tla i da se širi svugdje gdje mu to propusna moć prepreke dozvoljava. Kroz šljunkovito tlo prolazi lako i jednostavno, u manje poroznom tlu pronalazi pukotine i procjepe, a kroz kompaktnije slojeve tla prolazak mu je otežan ili onemogućen. Smatra se da sadržaj radona u vazduhu zavisi od propusne moći tla i sadržaja radijuma u njemu, što varira od jednog do drugog područja.

Napuštajući zemlju, gas radon se već na visini od pola metra nad zemljom razređuje sa atmosferskim vazduhom do određenih vrijednosti. Meteorološki uslovi mogu doprinijeti da se, sa mjesta na kojem je radon napustio zemlju, raznosi samo difuzijom njegovih atoma. U uslovima intenzivnog premještanja vazduha, struje raznose radon gas sa mjesta napuštanja zemlje, dovodeći na nekim mjestima do koncentracije od preko 100 Bq/m^3 . Uopšte, sadržaj

emanacija u prizemnom sloj u vazduhu veoma je promjenljiv i može da se razlikuje za nekoliko redova veličine. Tako velike amplitude oscilovanja koncentracije aktivnosti svojstvene su samo za vazдушnu sredinu.

Zbog relativno dugog vremena poluraspada (3,825 dana), radon može da boravi relativno dugo u atmosferi prije nego se raspadne. Na taj način on učestvuje u turbulentnom prijenosu kroz atmosferu i može da dospe i do njenih viših slojeva i da pređe velika rastojanja. Takođe i sezonske promjene meteoroloških uslova utiču na varijaciju koncentracije radona u vazduhu, kao i na koncentraciju prirodne radioaktivnosti vazduha uopšte.

Zatvoreni prostori, podzemni prostori ili kuće sa povećanom koncentracijom radijuma i torijuma u građevinskom materijalu su glavna izvorišta radona i torona. Specijalno su kritična područja s poroznim tlom. Koncentracija aktivnosti radona u zatvorenim prostorima može varirati od nekoliko Bq/m³ do više od 100 Bq/m³. Uobičajene koncentracije radona u zatvorenom prostoru u većini evropskih država su između 20 i 80 Bq/m³. U slobodnom zraku koncentracija ²²²Rn je obično između 10 i 20 Bq/m³ a zavisi od pritiska, temperature i vlažnosti vazduha.

Srednje godišnje koncentracije aktivnosti Rn-222 u vazduhu u kućama kod kojih je opravdano započeti preduzimanje protumjera su od 200 do 600 Bq/m³ u zavisnosti od društvenih i ekonomskih faktora. Ako je srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u vazduhu na radnim mjestima iznad 1000 Bq/m³, preporučuje se preduzimanje interventnih mjera.

3. METOD MJERENJA – NUKLEARNI TRAG DETEKTOR

Postoje različite metode i tehnike za mjerenje koncentracije radona. U svim tim mjernim tehnikama i metodama, posredno i neposredno, alfa, gama ili beta zračenja su detektibilni fenomeni. Kada se radi o radonu, mjerenje koncentracije radona može se obaviti neposredno, mjerenjem koncentracije samog radona, ili indirektno, preko njegovih potomaka. Detekcija radona može se izvršiti mjerenjem nivoa alfa, beta i gama zračenja pri njihovoj interakciji sa različitim materijalima, koji se koriste u tehnikama mjerenja.

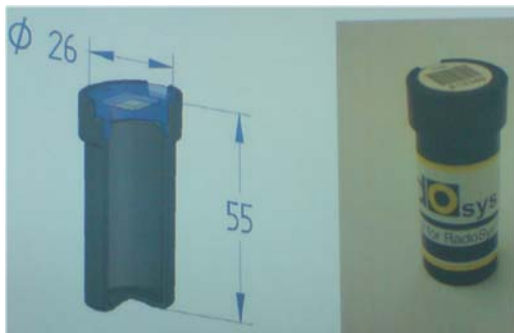
U ovom radu primjenjena je metoda mjerenja radona pomoću nuklearnih trag detektora tipa CR-39 (alil diglikol karbonat) smještenih u difuzijske dozimetre (*slika 1*). Ova metoda je jedna od najraširenijih metoda za integralno mjerenje koncentracije aktivnosti kako unutrašnjeg radona, tako i radona na otvorenom. Prednosti ove u odnosu na druge metode je to što su ovi detektori relativno malih dimenzija, jednostavni su za upotrebu jer ne zahtijevaju korištenje elektronike pri detekciji, relativno su jeftini i jednostavno se tretiraju i očitavaju.

Nuklearni trag detektori su pasivni detektori, što znači da radon samostalno difundira u detekcijsku komoru. Nakon izlaganja u određenom vremenskom intervalu, ovi se detektori podvrgavaju hemijskim reagensima, a zatim se uz pomoć optičkog ili elektronskog mikroskopa očitavaju tragovi koje su napravile α -čestice na filmu detektora. Brojeći tako dobivene tragove i pretpostavljajući postojanje sekularne ravnoteže između radona i svih njegovih potomaka, ili koristeći izmjerenu vrijednost ravnotežnog faktora u odnosu aktivnosti potomaka i aktivnosti radona, može se izmjeriti koncentracija radona u zatvorenom ili otvorenom prostoru. Ovi detektori su potpuno neosjetljivi na β -čestice i γ -zračenje jer je za stvaranje traga na filmu detektora potrebna viša energija.

Dakle, nakon prolaska α -čestice kroz materijal od kog je načinjen detektor dolazi do ostavljanja tragova u tom materijalu. Ti tragovi su veoma malih dimenzija i relativno su stabilni pri normalnim temperaturama, a stabilnost ovisi o vrsti dielektričnog materijala filma kao i o intenzitetu jonizacije. Ova prikrivena oštećenja na filmu su prečnika od 1 do 10 nm i vidljiva su samo elektronskim mikroskopom.

Nakon izlaganja filmovi se hemijski obrađuju, odnosno urezuju se tragovi, u prikladnoj lužnatoj otopini (NaOH, KOH) pri konstantnoj temperaturi. Urezivanjem se prekinuti polimerni lanci otapaju i na taj način se mala oštećenja proširuju za faktor 10^2 - 10^3 te nastaju tragovi vidljivi optičkim mikroskopom. Također, ovim se postupkom novonastali tragovi fiksiraju čime postaju neosjetljivi na promjene temperature, te tako trajno ostaju na površini detektora.

Hemijsko nagrivanje je vršeno sa vodenim rastvorom KOH (molariteta 6M) u posudi koja se kontroliše sa termostatom na temperaturi od 90°C . Vrijeme nagrivanja je iznosilo 4 sata. Na kraju postupka nagrivanja detektori su isprani tekućom vodom i stavljeni deset minuta u male posude sa destiliranom vodom kako bi se otklonili ostaci reagensa. Brojanje tragova je vršeno automatski u jedno automatskom sistemu za brojanje tragova specijalno konstruisan za ovu svrhu (slika 2). Uz pomoć odgovarajućeg softvera ovaj sistem pored brojanja tragova može izvršiti i dodatne analize rezultata kao što su: mjerenje prostorne gustoće obrađenih urezanih tragova, određivanje njihovih dvodimenzionalnih koordinata, područja statističke distribucije itd.



Slika 1. Difuzijski dozimetar sa nuklearnim trag detektorom tip CR-39



Slika 2. Sistem za automatsko mjerenje i brojanje urezanih tragova

4. REZULTATI MJERENJA I DISKUSIJA

Centralno mjesto pri određivanju nivoa prirodne radioaktivnosti predstavlja mjerenje koncentracije aktivnosti radona i njegovih produkata raspada kako u ambijentalnim sredinama (stambeni prostori, prostorije škola i fakulteta, dječija obdaništa, radni prostori, rudnici, fabričke hale idr.) tako i na otvorenom. Na osnovu ovih mjerenja računaju se godišnje doze zračenja koje prima stanovništvo.

Da bi se izvršilo mjerenje koncentracije spoljašnjeg radona pomoću nuklearnih trag detektora na području grada Mostara i njegove bliže okoline neophodno je bilo poduzeti niz radnji i aktivnosti kao što su:

- sklapanje dozimetara prema odgovarajućoj proceduri,
- postavljanje i izlaganje dozimetara,
- hemijsko nagrivanje i očitavanje dozimetara.

Sklapanje dozimetara vršeno je u prostoriji na spratu, uz maksimalnu pažnju da prašina ili nečistoća ne dođe na detektorski listić CR-39, jer u suprotnom mogu uticati na tačnost i pouzdanost mjerenja. Također se vodilo računa da se sklopljeni dozimetri postave što prije na mjesto testiranja kako bi se izbjeglo bilo kakvo povećanje pozadinske vrijednosti koncentracije radona.

Postavljanje dozimetara je vršeno na pažljivo odabranim mjestima metodom slučajnog uzorka. Pri odabiru lokacija se vodilo računa o ravnomjernoj distribuciji dozimetara u smislu

pokrivanja što većeg broja naselja u gradu Mostaru i njegovoj bližoj okolini, kao i postavljanje istih u blizini industrijskih objekata za koje se pretpostavlja da mogu znatno uticati na koncentraciju radona. Ukupno je postavljeno 15 nuklearnih trag detektora. Nakon vremena izlaganja koje je trajalo tri mjeseca, pristupilo se prikupljanju dozimetara i njihovom očitavanju. Hemijsko nagrizanje i očitavanje je izvršeno u Laboratoriju za detekciju, dozimetriju i zaštitu od jonizujućeg zračenja Prirodno–matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli.

Rezultati dobiveni nakon očitavanja predstavljeni su u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati mjerenja koncentracije radona na području grada Mostara i njegove bliže okoline

Red. broj	Broj detektora	Mjesto postavljanja (Opis lokacije)	Broj tragova	C (Bq/m ³)
1.	L 13522	Zalik – Muje Pašića 7a. Ispred podruma stambene zgrade	38	21
2.	L 13523	Kočine – ispred ulaza u prizemlje privatne stambene zgrade	65	35
3.	L 13524	Raštani. Otvorena garaža pored privatne kuće	39	28
4.	L 13525	Na deponiji Vihovići. U postolju kontejnera.	58	31
5.	L 13526	Ulica Adema Buća bb. Ispred zgrade elektrodistribucije Mostar.	23	12
6.	L 13527	U blizini južne strane deponije Vihovići. Autootpad.	49	27
7.	L 13528	U krugu preduzeća "Ferosirovina". Pred ulazom u halu.	15	8
8.	L 13529	Rodoč – Ispred ulaza u skladište preduzeća IGH Mostar	31	17
9.	L 13530	Jasenica. Ispod balkona privatne kuće	16	9
10.	L 13531	Bačevići-Željeznička stanica. Pred ulazom u čekaonicu.	27	15
11.	L 13532	Ulica Alekse Šantića. Ispred ulaza u privatnu zgradu.	46	25
12.	L 13533	Stari grad - Ulica Braće Fejića bb. Ispred portirnice (policija)	53	29
13.	L 13534	Bijelo polje. Prizemlje privatne kuće (ostava).	310	167*
14.	L 13535	Bišće Polje-Teretna stanica u Mostaru. Pod nastrešnicu kontejnera.	59	32
15.	L 13536	Klinički centar u Mostaru. Ispred portirnice.	44	24

Kao što se vidi iz tabele 1 izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona kreću se od 8 – 35 Bq/m³. Na skoro 70% mjernih lokacija, koncentracija aktivnosti spoljašnjeg radona je veća od 20 Bq/m³, odnosno od prosječne koncentracije aktivnosti radona izmjerene u mnogim zemljama.

Najveća koncentracija aktivnosti radona (35 Bq/m³) izmjerena je u novoizgrađenom naselju Kočine smještenog u blizini industrijske zone gdje se nalaze Energoptrolov naftni terminal, privremeno odlagalište rude boksit na željezničkoj teretnoj stanici, separacija pijeska, betonara i dr.). I druga mjerena lokacija (Bišće Polje) u blizini ove industrijske zone smještene u južnom području grada Mostara pokazala je vrijednost koncentracije aktivnosti radona preko 30 Bq/m³.

U drugoj industrijskoj zoni koja se također naslanja na gusto naseljeno područje grada Mostara smješten je bivši rudnik mrkog uglja "Vihovići". Nakon prestanka eksploatacije uglja na području ovog rudnika stvoreno je vještačko jezero koje je isključivo služilo kao "divlja" deponija svih vrsta otpada (komunalni, industrijski, opasni itd). Prije dvije godine započela je implementacija projekta "Sanacija rudnika Vihovići" koju izvodi Rudarski institut iz Tuzle uz saradnju sa ekspertima iz Njemačke. U trenutku kada su vršena mjerenja implementirala se

faza "gašenja" rudnika. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona na samom rudniku i u njegovoj okolini iznosili su oko 30 Bq/m³.

Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona u naseljima koja se nalaze u blizini tvornice Aluminij Mostar (Jasenice, Rodoč, Bačevići) iznosile su ispod 20 Bq/m³.

U samom urbanom dijelu grada Mostara vrijednosti koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona iznosile su od 8 – 29 Bq/m³.

Detektor broj L13534 (mjerenje pod rednim brojem 13) je bio postavljen u prizemlju privatne kuće (ostava) u naselju Bijelo polje i mjerio je koncentraciju aktivnosti unutrašnjeg a ne spoljnog radona, tako da je ovo mjerenje samo radi uporedne ilustracije brojčane vrijednosti uvršteno u ovu tabelu (*slika 3*). Pošto ova izmjerena vrijednost koncentracije aktivnosti radona prelazi srednju vrijednost koncentracije aktivnosti unutrašnjeg radona u većini država u svijetu (Velika Britanija-20Bq/m³, Njemačka-50Bq/m³, Švajcarska-70Bq/m³, SAD-46Bq/m³, Švedska-108Bq/m³, Finska-123Bq/m³, itd), u narednom periodu će ova lokacija biti dodatno ispitana.

5. ZAKLJUČAK

Poznavanje koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona od velikog značaja je za nivoe radona u stambenim i radnim prostorima. Mjerenje prikazana u ovom radu pokazuju da su koncentracije aktivnosti radona u vazduhu grada Mostara i njegove bliže okoline iznad prosječnih koncentracija koje se izmjerene u mnogim zemljama svijeta.

S obzirom da su ovo prva mjerenja ove vrste urađena na ovom području potrebno je u narednom periodu detaljnije, sa više mjernih metoda i postupaka, pristupiti istraživanju koncentracije aktivnosti, kako spoljašnjeg tako i unutrašnjeg radona i njegovih produkata raspada. Nakon toga bi se moglo pristupiti procjeni doze zračenja koju prima stanovništvo ovog područja usljed inhalacije radona i njegovih kratkoživećih produkata raspada.

6. LITERATURA

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP): *Measurement of Radon and Radon Daughters in air*, NCRP Report no 97, 1988;
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation (UNSCEAR): *Source, effects and risks of ionizing radiation*, New York, 2000.
- [3] S. Durrani, R. Ilic: *Radon measurements by etched track detectors*, World Scientific, 1997
- [4] F. Adrović, B. Jakupi and P. Vasić: *Measurments of radon concentration*, Radiation Measurements, Vol. 25, Nos 1-4, pp. 643-648, Printed in Great Britain, 1995.