

## NIVOI KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U VAZDUHU POVRŠINSKOG KOPA „DRAGE“ RUDNIKA UGLJA „TUŠNICA“

### LEVELS OF RADON ACTIVITY CONCENTRATION IN AIR OF OPEN PITS „DRAGE“ OF THE COAL MINE „TUŠNICA“

**Dr. sci. Zejnil Trešnjo, docent**  
Ministarstvo trgovine, turizma i zaštite okoliša HNK-a  
Mostar

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

#### REZIME

*Kopanjem i eksploatacijom uglja, radioaktivni gas radon, koji je sadržan u prirodnim geološkim strukturama, preraspodjeljuje se i transportuje iz dubine ugljenih slojeva ka površini zemlje, gdje može bitno promijeniti nivoe radioaktivnosti i radioekološku sliku u radnim i boravišnim prostorima. U ovom radu prikazani su rezultati jednogodišnjeg mjerenja nivoa koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona na površinskom kopu „Drage“ rudnika uglja „Tušnica“. Za mjerenje koncentracije aktivnosti radona korištene su dvije metode: metoda nuklearnih trag detektora i jonizacijska komora. Dobijeni rezultati u ovom radu koristiće se kao baza podataka pri izradi mape koncentracije aktivnosti radona Bosne i Hercegovine.*

**Glavne riječi:** radon, ugalj, površinski kop, Tušnica

#### SUMMARY

*By coal mining and exploitation, radioactive radon gas, which is captured in natural geological structures, is reallocated from the deep coal layers and transported to the surface of the earth where it can significantly change the levels of radioactivity and radioecological conditions in the working premises and residences. This paper presents the results of one-year measurements of outdoor-radon activity concentration at the surface mine open pits „Drage“ of the coal mine „Tušnica“. To measure the radon activity concentration, the following two methods were used: nuclear track detectors and ionisation chambers. The results obtained in this study will be used as the database in the preparation of the radon activity concentration map of Bosnia and Herzegovina.*

**Key words:** radon, coal, open pit, Tušnica

#### 1. UVOD

Eksploatacija uglja i njegovo sagorjevanje u termoelektranama predstavlja potencijalno najznačajniji proces za stvaranje tehnološki povišenih nivoa prirodne radioaktivnosti. Ugalj kao i većina prirodnih materijala sadrži prirodne radioaktivne elemente. Koncentracije prirodnih radionuklida u uglju su uglavnom nešto niže od onih u zemljinoj kori. Međutim, ponekad se mogu naći i veće koncentracije urana i torijuma i njihovih produkata raspada u

različitim slojevima uglja, što je rezultat izluživanja urana i torijuma iz uranom i torijumom bogatih vulkanskih stijena [1]. Atmosfera podzemnih i površinskih rudnika sadrži, u gasovitom obliku ili obliku aerosoli, sve prirodne radionuklide lanaca raspada uranija i torija. Kao rezultat toga, koncentracija pojedinih radionuklida, pogotovo radona i njegovih produkata raspada, mogu dostići visoke nivoe koncentracije koji mogu biti opasni po zdravlje radnika [2].

Iako nema podataka o emisiji radona od svih rudnika uglja (površinskih i jamskih), industrija uglja u Bosni i Hercegovini predstavlja potencijalni izvor opasnosti radioaktivne kontaminacije okoline posebno u slučajevima kad pojedini ugljevi koji se koriste u termoelektranama pokazuju povećan sadržaj prirodnih radionuklida. U ovom radu prikazani su rezultati jednogodišnjeg mjerenja nivoa koncentracije aktivnosti spoljašnjeg radona na površinskom kopu (PK) „Drage“ rudnika uglja „Tušnica“. Poznavajući sve osobenosti samog uglja, geološke karakteristike samog rudnika, u ovom radu je sagledana zavisnost između izmjerenih vrijednosti koncentracije aktivnosti radona (RAC) i ovih pojedinih parametara.

## 2. METODE ISTRAŽIVANJA I INSTRUMENTALIZACIJA

Mjerenje koncentracije radona metodom nuklearnih trag detektora vršeno je pomoću Radon sistema (Radosys, proizvođač Mađarska). Osnovne komponente ovog sistema su: difuzni dozimetar sa detektorom tipa CR-39, sistem za hemijsku analizu detektora, sistem za automatsko očitavanje detektora. Korišteni detektori izrađeni su od alilidiglikol polikarbonata, poznat kao CR-39, sa dimenzijama 10 x 10 x 1 mm, osjetljivost za  $\alpha$ -čestice je 2,9 tragova po  $(\text{cm}^3 \text{ kBq h}) \text{ m}^{-3}$ . Nesigurnost mjerenja kod ovog postupka iznosi od 20 do 30% [3].

Za trenutna i kontinuirana mjerenja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu rudnika sa površinskom eksploatacijom korišten je mjerni sistem "Alpha GUARD PQ 2000 PRO" (proizvođač Genitron Instruments, Njemačka), čiji se rad zasniva na principu jonizacije [4]. 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  $50^\circ \text{ C}$ . Kalibraciona greška sistema za  $^{222}\text{Ra}$  je  $\pm 3\%$ . Na ispitnim lokacijama je vršeno mjerenje jačine doze gama zračenja pomoću "ADL Gamma Tracer" sistema (Genitron Instruments GmbH Frankfurt).

Prvi korak u realizaciji mjerenja, bio je rad na izradi mreže, odnosno čvornih tačaka predviđenog područja za istraživanje. Mjerna mjesta izabrana su poslije svestrane analize svih parametara koji bi bili od značaja za rezultate istraživanja, a na samom kopu mjerenja su vršena za vrijeme maksimalnog rada na površinskom ugljenom kopu, kada su se otvarali slojevi i proslojci uglja i jalovine. Sa posebnom pažnjom izabrane su mjerne lokacije koje su poslužile za komparaciju. Za sva mjerna mjesta na svim ispitnim lokacijama strogo se vodilo računa o sljedećem:

- Postavljanje dozimetara vršeno je neposredno nakon njihovog sastavljanja i na taj način je smanjen uticaj pozadinske vrijednosti koncentracije radona.
- Tokom transporta dozimetri su zaštićivani sa aluminijumskim folijama.
- Očitavanje dozimetara izvršeno je u Laboratoriji za detekciju, dozimetriju i zaštitu od zračenja (LDDZZ) Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli.
- Greška pri mjerenju koncentracije aktivnosti radona pomoću nuklearnih trag detektora izračunavana je prema formuli:

$$\sigma = A \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_k^2 + \sigma_r^2} \quad (1)$$

gdje su:  $A$  - koncentracija aktivnosti radona,

$$\sigma_p = \frac{1}{\sqrt{N}} + 0,004; N \text{ je broj tragova } \alpha \text{ čestica u detektoru,}$$

$\sigma_K$  – greška kalibracionog koeficijenta (Za CR-39  $\sigma_K=0,18$ ),

$$\sigma_r - \text{ greška zbog transporta dozimetra } \left( \sigma_r = \frac{\text{vrijeme trajanja transporta}}{\text{vrijeme trajanja ekspozicije}} \right)$$

- Mjerenje koncentracije radona pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO je vršeno dva puta, prvi put prilikom postavljanja dozimetara na ispitne lokacije, a drugi put tokom uzimanja dozimetra nakon završenog mjerenja.
- Sva mjerenja koncentracije radona u vazduhu pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO vršena su u intervalu mjerenja od 10 minuta.

### 3. REZULTATI MJERENJA I DISKUSIJA

Imajući u vidu da se radi o površinskom kopu gdje je vrlo teško naći mjerne lokacije na kojima bi detektori bili bezbjedni za vrijeme mjerenja, ipak se vodilo računa o ravnomjernoj distribuciji dozimetara na cijelom području rudnika, kao i to da dozimetri tokom mjerenja ne smiju biti izloženi nepovoljnim meteorološkim uslovima (padavine, vjetar, sunce itd), i na taj način smanjiti njihov uticaj na tačnost mjerenja. Prema tome, primarno se vodilo računa o izboru mjesta izlaganja. Mjerenje je trajalo 90 dana. Da bi mjerenja bila što pouzdanija na pojedinim mjernim lokacijama istovremeno je postavljeno više detektora, dok je kao rezultat mjerenja RAC uzimana srednja vrijednost. Rezultati dobiveni nakon mjerenje prikazani su u tabelama 1 i 2.

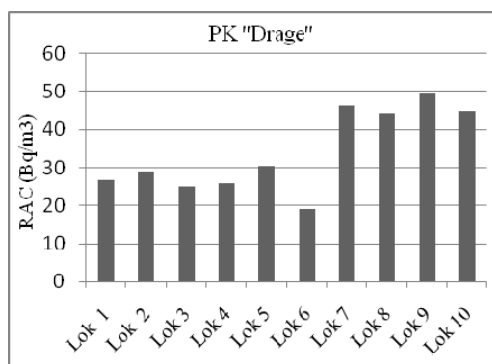
Tabela 1. Rezultati mjerenja RAC na PK „Drage“, njegovoj bližoj i daljoj okolini metodom nuklearnih trag detektora

Broj lok.	Mjesto postavljanja (Opis lokacije)	Broj tragova	RAC (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Ulaz u stari kop-1 (naspram ulaza u staru jamu Drage)	63	27 ± 6
2	Ulaz u stari kop-2 (naspram ulaza u staru jamu Drage)	68	29 ± 6
3	Separacija-1	59	25 ± 6
4	Separacija-2	61	26 ± 6
5	Pred ulaz/izlaz u jamu rudnika Novi Martinovac	72	30 ± 7
6	Staro skladište Martinovac	45	19 ± 5
7	Magacin upravne zgrade	110	46 ± 10
8	Portirnica (ulaz u rudnik)	105	44 ± 9
9	Izvor Mandek-Novakovac. Vodozahvat za vodovod Tušnica	118	50 ± 10
10	Mjesto Potkraj (cca 200 m od rudnika)	106	45 ± 9
11	Mjesto Potkraj (cca 500 m od rudnika)	96	41 ± 9
12	Upravna zgrada "Rudnika ugljena Tušnica" u Livnu - podrum	172	73 ± 14
13	Upravna zgrada "Rudnika ugljena Tušnica" u Livnu – prvi sprat	102	43 ± 9
14	Livno-centar (privatna kuća)	134	57 ± 11
15	Livno-periferija (privatna kuća)	116	49 ± 10
<b>SREDNJA VRIJEDNOST – površinski kop:</b>			<b>24 ± 6</b>
<b>SREDNJA VRIJEDNOST - bliža okolina rudnika:</b>			<b>39 ± 8</b>

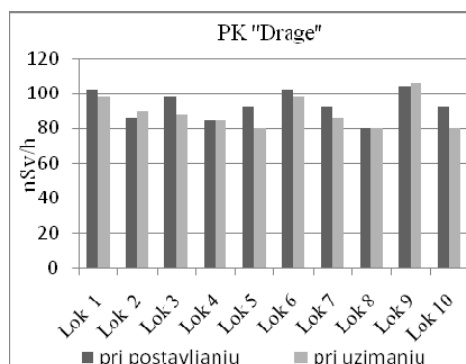
Tabela 2. Vrijednosti RAC u vazduhu PK „Drage“ i njegove bliže okoline dobivenih pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO

Broj lok.	Mjesto postavljanja (Opis lokacije)	RAC (Bq/m <sup>3</sup> )	
		na početku mjerenja	na kraju mjerenja
1	Ulaz u stari kop-1 (naspram ulaza u staru jamu Drage)	60	46
2	Ulaz u stari kop-2 (naspram ulaza u staru jamu Drage)	38	30
3	Separacija-1	26	42
4	Separacija-2	28	28
5	Pred ulaz/izlaz u jamu rudnika Novi Martinovac.	38	35
6	Staro skladište Martinovac	50	18
7	Magacin upravne zgrade	46	26
8	Portirnica (ulaz u rudnik)	32	42
9	Izvor Mandek-Novakovac. Vodozahvat za vodovod Tušnica	34	54
10	Mjesto Potkraj (cca 200 m od rudnika)	34	45
<b>SREDNJA VRIJEDNOST – površinski kop:</b>		<b>39</b>	<b>37</b>
<b>SREDNJA VRIJEDNOST – ukupno:</b>		<b>38</b>	

Kao što se vidi iz tabele 1 srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona na samom PK „Drage“ iznosila je  $24 \pm 6$  Bq/m<sup>3</sup>, dok je u okolini rudnika iznosila  $39 \pm 8$  Bq/m<sup>3</sup>. Izmjerene vrijednosti koncentracija aktivnosti radona u vazduhu PK „Drage“ dobivene pomoću nuklearnih trag detektora se kreću od 19 Bq/m<sup>3</sup> do 30 Bq/m<sup>3</sup> (mjerenja na otvorenom) i veće su od onih uobičajenih. Glavni razlog za ovakve vrijednosti treba tražiti u ležištima mrkog uglja koji se ovdje nalaze, odnosno u sadržaju radionuklida urana i radija u ovom uglju. Naime, ugallj iz ovog rudnika sadrži najveći procent radionuklida urana i radija ( $623,03 \pm 23,32$  Bq/kg za U-238 i  $1191,34 \pm 4,83$  Bq/kg za Ra-226) i sadržaj ovih radionuklida je 2 - 3 puta veći nego u uglju iz drugih rudnika u Bosni i Hercegovini [5]. Na slici 1 dat je grafički prikaz rezultata mjerenja dobivenih metodom nuklearnih trag detektora, a na slici 2 grafički prikaz rezultata mjerenja jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu koje su izmjerene na istim lokacijama prilikom postavljanja i uzimanja dozimetra.



Slika 1. Grafički prikaz vrijednosti RAC dobivenih pomoću nuklearnih trag detektora



Slika 2. Srednje vrijednosti jačine ekvivalentne doze gama zračenja mjernih lokacija

Na slici 1 jasno se vidi razlika između mjerenja RAC u vazduhu na otvorenom i zatvorenom prostoru. Na prvih šest mjernih lokacija detektori su bili postavljeni izvan građevinskog objekta, dok su na ostalim lokacije (Lok 7- Lok 10) oni bili smješteni u unutrašnjosti objekta i mjerili su unutrašnji radon. Najveća vrijednost RAC izmjerena je na lokaciji broj 9

(vodozahvat za vodovod Tušnica) i iznosila je  $50 \pm 10 \text{ Bq/m}^3$ . Očigledno je da na vrijednost RAC na ovoj mjernoj lokaciji, pored gore navedenog, ima i samo izvorište vode Mandek, gdje se radon iz vode lahko oslobađa u vazduhu prostorije. Poznato je da rastvorljivost radona u podzemnim vodama ima velikog uticaja na transport radona iz tla na površinu zemlje, a samim tim ima uticaj na nivoe prirodnog fona.

Na mjernim lokacijama koje su značajno udaljene od površinskog kopa "Drage" (preko 5 km) također je izvršeno mjerenje koncentracije aktivnosti radona pomoću nuklearnih trag detektora. Vrijednosti RAC u vazduhu u zatvorenom prostoru na ovim mjernim lokacijama iznosile su od  $43 \text{ Bq/m}^3$  do  $73 \text{ Bq/m}^3$  i nalaze se ispod limita ustanovljenih od međunarodnih organizacija. Maksimalna vrijednost RAC izmjerena je na lokaciji broj 12,  $73 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ , gdje je detektor bio smješten u podrumu upravna zgrade "Rudnika ugljena Tušnica" u centru grada Livna, u prostoriji u kojoj je smješten ugalj namjenjen za grijanje, a sadržaj radionuklida u njemu je osnovni razlog za ovoliku vrijednost RAC na ovoj mjernoj lokaciji. U istoj zgradi postavljen je detektor na prvom spratu. I ovdje je potvrđena činjenica da viši nivoi objekta imaju nižu koncentraciju aktivnosti unutrašnjeg radona.

Uporedna mjerenja koncentracije aktivnosti radona izvršena pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO (tabela 2) pokazuju nešto veće vrijednosti od onih dobivenih sa nuklearnim trag detektorima. Najveća vrijednost RAC dobivena ovom metodom izmjerena je na lokaciji broj 1 (naspram ulaza u staru jamu Drage) i iznosila je  $60 \text{ Bq/m}^3$ .

Na slici 2 dat je grafički prikaz rezultata mjerenja jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu koje su izmjerene na istim lokacijama prilikom postavljanja i uzimanja dozimetra. Kako se vidi sa slike 2 najveća jačina ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu izmjerena je na lokaciji br. 9 (Izvor Mandek-Novakovac) i iznosila je  $106 \text{ nSv/h}$ . Nešto manju vrijednost jačine doze gama zračenja imale su mjerne lokacije br. 1 (ulaz u staru jamu Drage) i lokacija br. 6 (staro skladište Martinovac),  $102 \text{ nSv/h}$ . Srednja vrijednost jačine ekvivalentne doze na području površinskog kopa "Drage" rudnika uglja "Tušnica" i njegove bliže okolne iznosila je  $91 \text{ nSv/h}$ , odnosno  $0,78 \text{ mSv/god}$ . Općenito se može reći da se izmjerene vrijednosti jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu na većini mjernih lokacija nalaze u granicama varijacije prirodnog fona (ispod  $100 \text{ nSv/h}$ ). Zbog činjenice da su vrijednosti koncentracije aktivnosti radona na ovom području veće od onih uobičajenih, te imajući u vidu sadržaj radionuklida u uglju i zemljištu sa ovog područja, očekivale su se znatno veće vrijednosti za jačinu ekvivalentne doze gama zračenja od onih koje su izmjerene. Razlog tome su, najvjerojatnije, meteorološki uslovi koji su vladali u trenutku mjerenja.

Izračunavanje korelacionog faktora  $r_{xy}$  prema poznatoj statističkoj formuli [6]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_i x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_i x_i \sum_i y_i}{\sqrt{\left[ \sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_i x_i \right)^2 \right] \left[ \sum_i y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_i y_i \right)^2 \right]}} \quad (2)$$

omogućava dalju analizu dobivenih rezultata. Značajniji korelacioni odnos postoji ako je  $r_{xy} \geq 0,5$ . Značajnija korelacija je uočena između koncentracije aktivnosti radona izmjerene pomoću AlphaGUARD uređaja i jačine ekvivalentne doze gama zračenja mjerene prilikom postavljanja detektora ( $r_{xy}=0,64$ ), dok je slaba korelacija učena pri mjerenju tokom uzimanja

detektora ( $r_{xy}=0,11$ ), što se može pripisati trenutnim meteorološkim uslovima (temperatura, pritisak, vlažnost, brzina premještanja vazduha, itd.).

#### 4. ZAKLJUČAK

Srednja vrijednost koncentracije aktivnosti radona izmjerena pomoću nuklearnih trag detektora na površinskom kopu „Drage“ rudnika uglja „Tušnica“ nešto je veća od uobičajene vrijednosti koja se kod većine evropskih zemalja nalazi u intervalu 10 - 20 Bq/m<sup>3</sup> za otvorene prostore [7]. Pored opšte poznate činjenice da iskopavanjem uglja može doći do ekshalacije radona iz slojeva i proslojeva uglja i zemlje, ovdje je glavni razlog povećane koncentracije aktivnosti radona u vazduhu visok sadržaj radionuklida (urana i radijuma) u mrkom uglju i zemljištu sa ovog područja.

Mjerenja koncentracije aktivnosti radona pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO pokazuju da trenutne vrijednosti koncentracije aktivnosti radona mogu značajno varirati od jedne do druge lokacije na površinskom kopu. Vrijednosti mjerenja RAC izvršena pomoću ovog uređaja na ovom površinskom kopu nešto su veće od onih dobivenih sa nuklearnim trag detektorima, što se uglavnom može pripisati različitim meteorološkim uslovima (temperatura, pritisak, vlažnost, brzina premještanja vazduha itd.) koji su bili prisutni u trenutku mjerenja. Izmjerene jačine doza gama zračenja u radnoj sredini površinske eksploatacije rudnika pomoću autonomnog uređaja ADL Gamma Tracer sistema pokazuju neznatno povećanje u odnosu na nivo prirodnog fona iz nenarušene prirodne okoline, i općenito se može reći da su u granicama uobičajenih vrijednosti izmjerenih u mnogim evropskim zemljama.

#### 5. REFERENCE

- [1] Adrović, F; Prokić, M.; Ninković, M.; Glišić, R.: Measurements of environmental Background radiation at location of coal-fired power plants, Radiation Protection Dosimetry, Vol 112, No.3. pp 439-442, 2004, Oxford University
- [2] Durrani, S.; Ilic, R.: Radon measurements by etched track detectors, World Scientific, 1997
- [3] ATOMKI: Radosys user's manual, Debrecin, 1999
- [4] AlphaGuard PQ2000 Radon Monitor, User manual, Genitron Instruments Germany
- [5] JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo: Izvještaj o zaštiti okoline za 2009. godinu
- [6] Todorovic, D.; Popovic, D.; Nikolic, J.; Ajtic, J.: Radioactivity Monitoring in Ground Level Air in Belgrade Urban Area, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 142, No. 2-4, pp. 308-313, Oxford University, (2010)
- [7] UNSCEAR 1982: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex C - Technologically Modified Exposure to Natural Radiation. New York, 1982.