

TEHNOLOŠKI MODIFIKOVANA PRIRODNA RADIOAKTIVNOST I PROCJENE DOZE ZRAČENJA

TECHNOLOGICALLY ENHANCED NATURAL RADIOACTIVITY AND GAMMA DOSE RATE ESTIMATION

dr. sc. Amira Kasumović, docent
dr. sc. Feriz Adrović, redovni profesor
mr. sc. Amela Kasić, viši asistent
Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet
Tuzla

REZIME

Većina prirodnih resursa u normalnim uslovima sadrži tragove prirodnih radionuklida. Eksploatacijom, tehnološkim postupcima i korištenjem raznih mineralnih sirovina vrši se koncentrisanje i preraspodjela radioaktivnih elemenata što može bitno promijeniti radioekološku sliku u radnim i boravišnim prostorima. U radu se obrađuje pojam tehnološki modifikovane prirodne radioaktivnosti, navode se glavni izvori i faktori koji dovode do izmijenjenje prirodne radioaktivnosti. Dat je i pregled proračuna doza zračenja koju čovjek primi pri izlaganju ovim izvorima zračenja. Posebna pažnja je posvećena području Tuzle i Lukavca, kao i procjeni uticaja tehnološki modifikovane prirodne radioaktivnosti na radijacione nivoe u životnoj sredini ovih gradova.

Ključne riječi: tehnološki modifikovana prirodna radioaktivnost, doze gama zračenja

SUMMARY

Under normal conditions, most of the natural resources contain traces of natural radionuclides. Exploitation, technological processes and usage of various raw minerals lead to a spatial redistribution and concentration of radioactive elements that can change the radioecological balance in the environment. This paper threats the concept of technologically enhanced natural radioactivity naming the main sources and causal factors. The review of the gamma dose rates that humans receive from this radiation sources is also presented. The special attention is given to the area of Tuzla and Lukavac as well as to the impact of technologically enhanced natural radioactivity on the radiation levels in the environment.

Keywords: technologically enhanced natural radioactivity, gamma dose rate

1. UVOD

Najveći dio radijacije koju primi svjetsko stanovništvo potiče od prirodnih izvora zračenja. Izlaganje najvećem dijelu ove radijacije je neizbježno. Često se prirodnim izvorima zračenja ne pridaje potrebni značaj kada se analiziraju učinci jonizirajućih zračenja na organizme ili kada se analiziraju faktori kvalitete životne sredine. Procjene pokazuju da oko 85% ukupne godišnje doze zračenja koju ljudi primaju potiče od prirodnih izvora zračenja [1, 2].

2. PRIRODNA RADIOAKTIVNOST

Prirodna zračenja se, prema porijeklu izvora, mogu podijeliti u dvije osnovne grupe: zračenja koje dopijevaju iz Svemira i zračenja čiji su izvori prisutni u biosferi Zemlje.

Kosmičko zračenje dopijeva iz Svemira, a odnosi se na primarno zračenje koje prevladava iznad otprilike 25 km nadmorske visine dok je u nižim područjima značajno sekundarno zračenje, koje nastaje pri interakciji primarnog zračenja sa molekulama atmosfere. Prirodni radionuklidi koji su prisutni u biosferi Zemlje se mogu podijeliti na tri osnovne grupe: prirodni radionuklidi koji su članovi radioaktivnih porodica, prirodni radionuklidi koji ne pripadaju radioaktivnim porodicama te prirodni radionuklidi koji su se stvarali u svim fazama evolucije Zemlje, a stvaraju se i danas.

U prirodi su prisutna tri radioaktivna niza: uran-radijumov, uran-aktinijumov i torijumov niz. Svi članovi jednog niza genetski su vezani i nastaju sukcesivnim raspadom prvog člana niza. Raspad traje sve dok se ne dobije stabilni izotop. Njihova koncentracija u biosferi postepeno se smanjuje, analogno opadanju količine primarnog radionuklida u nizu. Prirodni radionuklidi koji ne pripadaju radioaktivnim porodicama se direktno raspadaju na stabilne nuklide. Glavni predstavnici su ^{40}K i ^{87}Rb . Njihov nastanak je vezan za nastanak Zemlje, a sadržaj u biosferi im opada sa brzinom njihovog radioaktivnog raspada. Kosmogeni radionuklidi nastaju pri direktnoj i indirektnoj interakciji visokoenergetskih čestica kosmičkog zračenja sa elementima prisutnim u sastavu atmosfere i Zemljine kore. Dozimetrijski su značajni ^{14}C , ^3H , ^7Be i ^{22}Na [3, 1].

3. TEHNOLOŠKI MODIFIKOVANA PRIRODNA RADIOAKTIVNOST

Pojam tehnološki modifikovana prirodna radioaktivnost (engl. Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material - TENORM) je uveden polovinom 70-ih godina XX vijeka, a označava izlaganje prirodnim izvorima zračenja koje se ne bi pojavilo bez prethodne tehnološke aktivnosti koja nije provedena u cilju dobivanja zračenja [4, 5]. Kako nastaje TENORM? Najkraće i najjednostavnije rečeno - nastaje ljudskom aktivnosti u prirodnom okruženju. Čovjek svojim aktivnostima nastoji da iskoristi sve potencijalne prirodne resurse za stvaranje materijalnih vrijednosti što ima za posljedicu prostornu preraspodjelu prirodnih resursa. Većina prirodnih resursa u normalnim uslovima sadrži tragove prirodnih radionuklida. Preduzete aktivnosti u pojedinim dijelovima životne sredine dovode do poremećaja ekološke ravnoteže, odnosno do preraspodjele prirodne radioaktivnosti. Ako bi se zračenje radioaktivnih izvora iz nenarušene sredine podrazumijevalo za nulti nivo prirodne radioaktivnosti tada određene tehnološke aktivnosti doprinose dodatnom ozračivanju stanovništva [3, 5].

Tehnološki postupci koji dovode do povećanja prirodne radioaktivnosti su najčešće: eksploatacija uglja i ostalih fosilnih energenata, sagorijevanje uglja u termoelektranama i raznim postrojenjima, eksploatacija i prerada različitih mineralnih sirovina, prerada i upotreba fosfatnih ruda, upotreba fosfatnih đubriva, ispuštanje produkata sagorijevanja iz individualnih ložišta, sagorijevanje nafte i naftnih derivata u industrijskoj primjeni i motorima u saobraćaju [5]. TENORM nastaje prilikom svih velikih zemljanih radova, te prilikom izgradnje velikih hidroenergetskih i rudomelioracionih objekata i sl. Odlagališta otpada na koja se deponuju ostaci od prerade rude takođe predstavljaju potencijalne lokalitete sa narušenom prirodnom radioaktivnosti. U TENORM se može uvrstiti i povećanje koncentracije gasa radona u zatvorenim prostorima. Procjene su da radon učestvuje sa oko 50% u individualnoj dozi prirodnih izvora i sa oko 75% godišnje efektivne ekvivalentne doze primljene iz zemaljskih izvora. Veći dio te doze se dobiva inhalacijom ovog radionuklida u zatvorenom prostoru, gdje se radon, nakon emanacije iz zemljišta i građevinskih materijala, nagomilava [1, 5].

Eksploatacija uglja i sagorijevanje uglja u termoelektranama predstavljaju, u našim uslovima, potencijalno najznačajniji proces za stvaranje TENORM-a [5]. Sagorijevanjem uglja u TE

prirodna radioaktivnost prisutna u uglju se koncentrira u čvrstim ostacima sagorijevanja, šljaci i pepelu. Koncentracije prirodnih radionuklida u otpadu su nekoliko puta veće nego u okolnom zemljištu, a sav otpad iz proizvodnje se odlaže na odlagališta, te prisutni radionuklidi zbog velikog vremena poluraspada ostaju trajna opasnost, tj. postaju izvor produžene izloženosti zračenju i time potencijalni ekološki i zdravstveni problem. Trenutne procjene svjetske upotrebe uglja pokazuju da se oko 40% iskopanog uglja koristi u proizvodnji električne energije, oko 10% u domaćinstvu, dok se oko 50% koristi u drugim industrijama. Proizvodnja 1 GW električne energije u termoelektrani, prema procjenama, rezultira kolektivnom efektivnom dozom od 20 Sv po čovjeku [6]. UNSCEAR procjenjuje da oko 70% efektivnih doza koje prima svjetsko stanovništvo nastaju uslijed inhalacije dugoživećih radionuklida, koji se oslobađaju od tipično starih termoelektrana. Ako se pretpostavi da su koncentracije radionuklida u ispuštenom dimu jednake koncentracijama u uglju, i da se 3,5% uglja emituje kao dim, procjene su da se godišnje širom svijeta oslobodi, od ovog izvora, oko 0,7 TBq ^{40}K i 0,3 TBq od svakog radionuklida ^{238}U i ^{232}Th serije (izuzev radona i torona). Ovi iznosi postaju 20% veći ako se pretpostavi da su odgovarajuće koncentracije prirodnih radionuklida u dimu jednake koncentracijama u pepelu i da sagorjeli ugalj sadrži 5% pepela. Imajući u vidu svjetsku proizvodnju električne energije u TE odgovarajuća godišnja efektivna doza po glavi stanovnika iznosi 2 μSv . Ugalj se koristi i u domaćinstvu, a procjene pokazuju da je odgovarajuća godišnja efektivna doza po glavi stanovnika od ove upotrebe uglja od 0,4-8 μSv . Radiološki je značajna i upotreba ugljenog pepela u građevinarstvu gdje godišnja efektivna doza po glavi stanovnika iznosi 5 μSv [6].

Tabela 1. Procjena godišnje efektivne doze po glavi stanovnika pri vađenju i obradi materijala iz zemlje

Izvor	Godišnja efektivna doza po glavi stanovnika (μSv)
Ugalj:	
Rudnik	0,0001-0,002
Proizvodnja električne energije	2
Upotreba u domaćinstvu	0,4-8
Upotreba pepela	5
Druga fosilna goriva:	
Nafta	0,01
Prirodni gas	0,001
Geotermalni izvori	0,001
Fosfatne rude:	
Industrijska obrada	0,04
Vještačka gnojiva	2
Nus-proizvodi i otpad	10

Za proizvodnju električne energije, ali i u domaćinstvu, se koriste i drugi izvori odnosno minerali iz zemlje, kao što su nafta i prirodni gas. Procijenjene godišnje efektivne doze po glavi stanovnika od upotrebe ovih energenata iznose 10 nSv pri upotrebi nafte, odnosno 1 nSv pri upotrebi prirodnog gasa. Mjerenja su pokazala da geotermalne tekućine sadrže uglavnom radionuklide uranijumovog niza. Godišnja efektivna doza po glavi stanovnika pri proizvodnji električne energije od ovih izvora iznosi oko 1 nSv [6]. U tabeli 1. je dat pregled procjene godišnje efektivne doze po glavi stanovnika koje nastaju vađenjem i obradom materijala iz zemlje [6]. Ukupna godišnja efektivna doza po glavi stanovnika nastala kao rezultat vađenja i obrade materijala iz zemlje procjenjuje se na oko 20 μSv . Navedeni podaci ukazuju da TENORM značajno doprinosi ukupnom ozračivanju stanovništva [1, 6].

4. TENORM NA PODRUČJU TUZLE I LUKAVCA

Područje Tuzlanskog kantona raspolaže raznovrsnim prirodnim resursima, a dva najvažnija mineralna resursa su uglj i kamena so. Ležište soli je jedino ove vrste u BiH, dok je prema rezervama uglja ovaj prostor najveće energetske područje. Područje Kantona ima znatne rezerve i drugih minerala: kvarcnog pijeska, kamenih agregata, magnezita, krečnjaka. Eksploatacija mineralnih sirovina i drugih materijala ima već stogodišnju tradiciju i omogućila je razvoj različitih privrednih grana, gdje industrijska proizvodnja zauzima najznačajnije mjesto. Izdvajaju se proizvodnja i prerada uglja, proizvodnja električne energije, sono-hemijska industrija, metalna i elektro-industrija, kao i industrija građevinskog materijala [7].

Intenzivna eksploatacija i tehnološki postupci u industrijskoj proizvodnji narušavaju ekološku sliku sredine i dovode do značajne preraspodjele prirodne radioaktivnosti. Ako se uzme u obzir da je veliki broj industrijskih objekata smješten na području gradova Tuzle i Lukavca, onda se može reći da su to ekološki najugroženija mjesta. Za ove gradove je karakteristično da su industrijske zone smještene u gusto naseljenim područjima. Prisutna industrijska postrojenja svojim tehnološkim postupcima utiču na kvalitet okoliša na više načina, a posebno preko emisije štetnih zagađujućih supstanci. Zagađenje utiče na vazduh, površinske i podzemne vode, zemljište, biljke, životinje i naravno na ljude. Industrijski objekti koji daju određene doprinose nivoima tehnološki modificirane prirodne radioaktivnosti u svim ambijentalnim sredinama na području Tuzle i Lukavca su termoelektrana, fabrika siporeksa, fabrika soli, livnica čelika, fabrika sode, fabrika koksa, fabrika cementa, rudnici uglja, soli i krečnjaka. Pored navedenih industrijskih objekata ne treba zanemariti ni doprinos od kotlovnica i individualna ložišta u periodu grijanja, i posebno izduvne gasove iz motornih vozila.

4.1. Rezultati mjerenja

U radu su prezentovani rezultati mjerenja specifične aktivnosti prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra i ^{40}K u uzorcima tla sa područja Tuzle i Lukavca. Uzorkovanja površinskog tla (31 uzorak) su provedena na lokalitetima koja se nalaze u neposrednoj blizini industrijskih zona ovih gradova. Mjerna mjesta su izabrana tako da bi se mogao utvrditi uticaj industrije na prirodnu radioaktivnost ovog područja. U Tuzli uzorci su prikupljeni u okolini termoelektrane, dok u Lukavcu u neposrednoj blizini fabrike cementa, fabrike sode i koksare, te u okolini jezera Modrac. Prikupljeni uzorci tla su, nakon odgovarajuće laboratorijske obrade i pripreme [8], analizirani gama-spektrometrijskom metodom. U tabeli 2. su prikazani rezultati mjerenja. Prema Izvještaju UNSCEAR srednja vrijednost specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima tla iznosi 35 Bq/kg za ^{238}U , 30 Bq/kg za ^{232}Th , 35 Bq/kg za ^{226}Ra i 400 Bq/kg za ^{40}K [1]. Rezultati provedenih istraživanja ne odstupaju u značajnoj mjeri od tih nivoa, slika 1. [1,9]. Izmjerene vrijednosti specifične aktivnosti ^{40}K , ^{232}Th i ^{226}Ra u uzorcima tla su poslužile za izračunavanje veličina, koje ukazuju na radiološku sliku ispitivanog područja [10, 11].

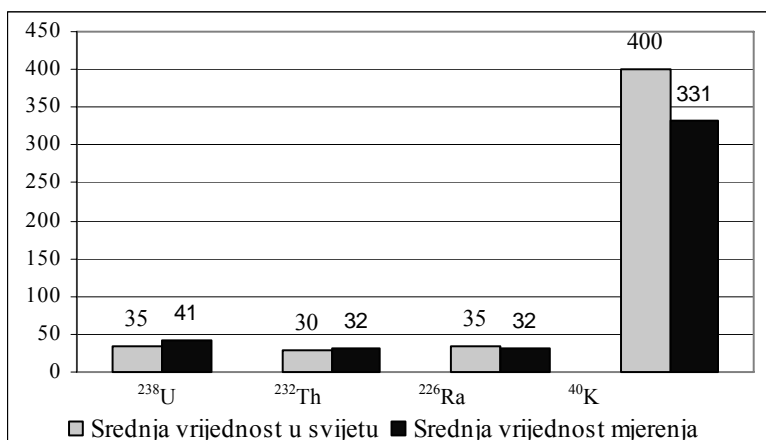
Apsorbirana doza gama zračenja u vazduhu koja potiče od zemaljskih izvora, na visini od 1 metra iznad površine zemlje, se može odrediti prema relaciji:

$$D = 0,462 \cdot A_{\text{Ra}} + 0,042 \cdot A_{\text{K}} + 0,604 \cdot A_{\text{Th}} \quad \dots(1)$$

D - apsorbirana doza zračenja u vazduhu (nGy/h), A_{Ra} , A_{Th} i A_{K} – specifične aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorcima zemlje (Bq/kg), [1, 11].

Tabela 2. Specifična aktivnost prirodnih radionuklida (Bq/kg) u uzorcima tla

	Specifična aktivnost radionuklida (Bq/kg)				
	^{238}U	^{235}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
srednja vrijednost	41	3	32	32	331
interval	8 - 95	0,41 - 4,6	7 - 66	6 - 55	83 - 546



Slika 1. Usporedni prikaz specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u tlu

Na osnovu vrijednosti apsorbirane doze γ zračenja u vazduhu može se izvršiti procjena godišnje efektivne doze zračenja, pri čemu faktor konverzije apsorbirane doze zračenja u efektivnu dozu, za odrasle osobe, iznosi $0,7 \text{ Sv/Gy}$, te zadržavanje na otvorenom iznosi 20% vremena [1].

$$H = D \cdot F \cdot t \cdot 0,2 \quad \dots(2)$$

H - prosječna godišnja efektivna doza zračenja (mSv), D - apsorbirana doza zračenja izražena (nGy/h), $t=8760$ h - prosječan broj sati u godini, $F=0,7 \text{ SvGy}^{-1}$ - faktor konverzije apsorbirane doze u vazduhu u efektivnu dozu za odrasle osobe.

Kao pokazatelj procjene radiološke opasnosti od vanjskog gama zračenja uvedena je veličina Radium ekvivalentna aktivnost (Ra_{eq}) koja se određuje prema relaciji:

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 \cdot A_{Th} + 0,077 \cdot A_K \quad \dots(3)$$

Vrijednost Ra_{eq} od 370 Bq/kg odgovara godišnjoj dozi zračenja od 1,5 mSv. U tabeli 3. su prikazane izračunate vrijednosti navedenih veličina za ispitivane uzorke zemlje.

Tabela 3. Apsorbirana doza gama zračenja, godišnja efektivna doza zračenja i Ra_{eq} iz uzoraka tla

	D	H	Ra_{eq}
	nGy/h	mSv	Bq/kg
Min	12,1	0,01	25,6
Max	85,4	0,10	186,3
Srednja vrijednost	47,9	0,06	

Prema rezultatima proračuna, vrijednost apsorbirane doze γ zračenja u vazduhu je 12,1 nGy/h - 85,4 nGy/h, sa srednjom vrijednosti 47,9 nGy/h. Prema izvještaju UNSCEAR-a prosječna vrijednost apsorbirane doze zračenja u vazduhu je 51 nGy/h, kada se računa prema relaciji (1), odnosno 57 nGy/h, sa rasponom od 18-93 nGy/h, ako se direktno mjeri [1]. Dobivene vrijednosti apsorbirane doze zračenja u vazduhu, na istraživanim lokalitetima, odgovaraju vrijednostima svjetskog prosjeka. Vrijednost godišnje efektivne doze zračenja je 0,01 mSv - 0,10 mSv. Srednja vrijednost je 0,06 mSv što je niže od svjetskog prosjeka od 0,07 mSv [1]. Vrijednosti Ra_{eq} su 25,6 Bq/kg - 186,3 Bq/kg što je niže od maksimalne dozvoljene vrijednosti od 370 Bq/kg.

5. ZAKLJUČAK

Kada se govori o zaštiti okoliša posebnu pažnju treba posvetiti prirodnim izvorima radioaktivnosti i uticaju radioaktivnosti na zdravlje čovjeka. Istraživanja o radioaktivnosti okoliša treba usmjeriti na kontinuirano praćenje radijacionih nivoa u svim sredinama. Potrebno je prepoznati radiološki osjetljive lokacije odnosno potencijalne izvore tehnološki modificovane prirodne radioaktivnosti.

U radu je obrađen pojam TENORM-a, navedeni su neki od mogućih izvora, a posebna pažnja je posvećena industrijskom području Tuzle i Lukavca. Provedena mjerenja specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u obradivim uzorcima tla na ovom lokalitetu su poslužila za izračunavanje veličina koje ukazuju na radioekološku sliku ispitivanog područja. Dobivene vrijednosti odgovaraju vrijednostima svjetskog prosjeka.

6. LITERATURA

- [1] UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes, Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 2000.
- [2] Dolhańczuk-Śródka, A.: Estimation of external gamma radiation dose in the area of Bory Stobrawskie forests (PL), Environmental Monitoring and Assessment, ISSN 0167-6369, Vol. 184, Issue 9, September 2012, pp. 5773-5779
- [3] Adrović, F., Ninković, M.: Radioaktivnost i radijacioni nivoi u okolini termoelektrane, Institut za Nuklearne nauke Vinča, Beograd, 2005.
- [4] Evaluation of EPA's Guidelines on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) Report to Congress, EPA 402-R-00-01, June, 2000.
- [5] Slivka, J., Bikit, I., Vesković, M., Čonkić, Lj.: Gama spektrometrija-specijalne metode i primene, Univerzitet u Novom Sadu, 2000.
- [6] Sabol, J., Weng, P.S.: Introduction to radiation protection dosimetry, World Scientific Publishing, 1995.
- [7] Privreda Tuzlanskog kantona, www.vladatk.kim.ba
- [8] Kasumović, A.: Uticaj tehnološki modificovane prirodne radioaktivnosti na radijacione nivoe u životnoj sredini gradova Tuzle i Lukavca, doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Tuzli, maj 2011.
- [9] UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with scientific annexes, Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 2010.
- [10] Diab, H. M., Nouh, S. A., Hamdy, A., El-Fiki, S. A.: Evaluation of natural radioactivity in a cultivated area around a fertilizer factory, Journal of Nuclear and Radiation Physics, ISSN: 1687-420X, Vol. 3, No.1, May 2008, pp. 53-62
- [11] Hafezi, S., Amidi, J., Attarilar, A., Concentration of natural radionuclides in soil and assessment of external exposure to the public in Tehran, Iranian Journal of Radiation Research, ISSN 1728-4554, Vol. 3 No. 2, September 2005, pp. 85-88