

**MJERENJE UDJELA KONCENTRACIJE POTENCIJALNE ALFA
ENERGIJE NENATALOŽENIH PRODUKATA RASPADA RADONA**

**MEASURING SHARE OF POTENTIAL ALPHA ENERGY
CONCENTRATION OF UNSETTLED RADON DAUGHTERS**

Mr. sci. Zejnil Trešnjo, viši asistent
Ministarstvo građenja, prostornog uređenja i zaštite okoline HNK-a
Mostar

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

Amela Dedić, asistent
Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet, Tuzla

REZIME

Da bi mogli praviti procjene o količini zračenja i njegovog eventualnog dejstva na ljudski organizam treba poznavati doprinos efektivnih doza usljed prirodnih izvora zračenja i ostalih vrsta zračenja. Od ukupnog zračenja u našoj životnoj sredini 50% potiče od elementa radona i njegovih produkata raspada. Radon nastaje kao međuproizvod pri radioaktivnom raspadu urana, torijuma i aktinijuma, a sam se radioaktivnim raspadom pretvara u odgovarajuće izotope olova. Rasprostrući se u okolinu kao gas, čini i nju radioaktivnom. Na mnogim mjestima gdje borave ljudi veliki doprinos dozi zračenja potiče od inhalacije produkata raspada radona nataloženih na aerosolnim česticama. Da bi proveli tačnu procjenu doze zračenja potrebno je poznavati koncentraciju potencijalne alfa energije za nenataložene produkte raspada radona.

Ključne riječi: radioaktivnost, produkti raspada radona, alfa zračenje, mjerenje

ABSTRACT

To be able to estimate the amount of radiation and its possible effect on human bodies, one should be familiar with contribution of effective doses from natural radon sources and other types of radiation. Out of total radiation in our environment, 50% originates from radon and its daughters. Radon is created as an intermediate product in radioactive disintegration of uranium, thorium and actinium, and radon itself in this radioactive disintegration transforms into certain isotopes of lead. By spreading into environment in the form of gas, it makes it also radioactive. At many places where people stay, contribution to the dose of radiation comes highly from inhalation of radon daughters products settled on aerosol particles. To perform an exact estimate of the radiation dose, it is necessary to know potential alpha energy concentration for unsettled radon daughters.

Key words: radioactivity, radon daughters, alpha radiation, measuring

1. UVOD

Od nastanka Zemlje u njenoj kori se nalaze dugoživeći radionuklidi urana i torijuma, kao i njihovi produkti raspada koji nastaju emitovanjem alfa i beta zračenja. Pri tome također nastaju i izotopi radijuma, Ra-226 i Ra-224. Radioaktivni plemeniti gas radon (Rn-222) nastaje raspadom Ra-226 tako da se on prirodno nalazi svuda u zemlji, a djelimično kroz pore tla oslobađa se u zraku tla. Za vrijeme relativno dugog života radona (vrijeme poluraspada $T_{1/2}=3,825$ dana) može da iz tla difundira na površinu i tako dospije u atmosferu (ekshalacija radona).

Radon se također raspada preko lanca kratkoživećih radionuklida Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, i preko dugoživećih Pb-210 (vrijeme poluraspada $T_{1/2}=22$ godine) kao i radionuklida Bi-210 i Po-210 u stabilno olovo Pb-206. Za zaštitu od zračenja su u biti važna ova četiri kratkoživeća produkta raspada dok ostali produkti raspada su relativno dugoživeći i pojavljuju se u zraku samo u relativno malim koncentracijama. Pod produktima raspada radona u daljem tekstu se uvijek podrazumjevaju samo kratkoživeći nuklidi radona. Ukoliko se produkti raspada radona formiraju u zraku, oni se pretežno talože na aerosolima, formirajući tako radioaktivne aerosili. Samo jedan manji dio ostaje kao takozvani nenataloženi udio u zraku. Postojeća koncentracija radona u slobodnom prostoru zavisi od mnogo parametara, na primjer od sadržaja radijuma u tlu, svojstva podneblja i meteoroloških uslova

Radon koji izlazi iz zemlje može posebno da se koncentriše u kućama ili drugim zgradama, ali također i u rupama, otvorima ili rudnicima i može tamo da dovede do znatne koncentracije, u povećanom obimu, produkata raspada radona, više nego što je to slučaj na otvorenom. Po pravilu je koncentracija produkata raspada radona u zraku manja nego sama koncentracija radona, pošto radon iz tla ulazi slobodno u prostoriju, a produkti raspada se tamo nakon raspada radona moraju tek da stvaraju, i onda se na tlu ili zidovima mogu da istalože. Radon može da se također stvara i u građevinskom materijalu, koji sadrži prirodni radijum i izlaze iz ovih materijala u prostorije i time se povećava koncentracija radona. Radon također može da bude sadržan i u izvorima vode i bunara i mogu da iz njih izlaze.

Čovjek udiše radon i nastale produkte raspada radona koji se nalaze u zraku. Dok se plemeniti gas radon skoro potpuno ponovi izdiše, ostaje oko 10-20% produkta raspada u tdisajnom traktu čovjeka. Oni se tamo raspadaju na alfa, beta ili gama zračenja i usljed čega dolazi do ekspozicije u tkivu pluća i drugim organima. 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. OSNOVNI POJMOVI I VELIČINE PRI MJERENJU KONCENTRACIJE RADONA I NJEGOVIH PRODUKATA RASPADA

Prilikom udisanja u plućima se uglavnom talože produkti raspada radona. Radi toga ekspozicija pluća i doza zračenja pluća je prouzrokovana uglavnom njihovim raspadima. Pri tome, gusto jonizirajuće visoko energetske alfa čestice najviše doprinose dozi zračenja u plućnom tkivu. Također je poznato da svaki radionuklid deponiran u plućima može svojim raspadom da nanese oštećenja, koja zavise od ukupne energije od ovih radionuklida i njegovih daljih kratkoživećih produkata raspada, odnosno ova oštećenja su posljedica emitiranih alfa čestica. Iz ovih razloga uvedene su veličine koje su isključivo vezane za produkte raspada radona. Te veličine su: potencijalna alfa energija ε_i , koncentracija

potencijalne alfa energije c_p , ravnotežna ekvivalentna koncentracija radona - c_{eq} , faktor ravnoteže - F , nenataloženi udio - f_p .

Potencijalna alfa energija (PAC, engl. Potential Alpha Energy) po atomu, ε_i , i – tog kratkoživećeg radonovog potomka, je zbir svih alfa energija emitovanih tokom njegovog raspada sve do dugoživećeg olova Pb-210. Kada postoji N_i atoma ovog potomka u zraku, tada je ukupna potencijalna alfa energija data sljedećim izrazom

$$\varepsilon_u = N_i \varepsilon_i = \frac{A_i}{\lambda_i} \varepsilon_i \quad (1)$$

Koncentracija potencijalne alfa energije (PAEC, engl. Potential Alpha Energy Concentration) c_p , bilo koje smjese kratkoživećih produkata raspada, je suma potencijalne alfa energije svih atoma produkta raspada po jedinici volumena zraka. Za produkte raspada radona vrijedi jednačina:

$$c_p = \sum_{i=1}^4 \frac{c_i \varepsilon_i}{\lambda_i} \quad (2)$$

Radi bolje uporedbe sa koncentracijom radona, često se kao alternativa za PAEC koristi ekvivalentna ravnotežna koncentracija radona c_{eq} (EEC, engl. Equilibrium Equivalent Concentration). EEC je koncentracija radona pri kojoj bi njegovi kratkoživeći potomci, koji su u sekularnoj ravnoteži s njim, imali upravo toliku koncentraciju potencijalne alfa energije koliko stvarno imaju u posmatranom ravnotežnom stanju u zraku:

$$c_p = c_{eq} \sum_{i=1}^4 \frac{\varepsilon_i}{\lambda_i} \quad (3)$$

odnosno

$$c_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{c_i \varepsilon_i}{\lambda_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{\varepsilon_i}{\lambda_i}} = \sum_{i=1}^4 k_i c_i \quad (4)$$

gdje je konstanta k_i odnos potencijalne alfa energije jednog nuklida (po Bq) i sume potencijalne alfa energije svih razmatranih kratkoživećih radonovih potomaka.

Važni podaci vezani za produkte raspada radona dati su u sljedećoj tabeli:

Radio-nuklid	Vrijeme poluraspada $T_{1/2}$	Broj atoma po Bq $1/\lambda$	Potencijalna alfa energija jednog radionuklida				k	
			po atomu ε		po Bq ε/λ			
i			MeV	10^{-12} J	MeV	10^{-12} J		
Po-218	1	3,05 min	264	13,69	2,19	3 620	579	0,104
Po-214	2	26,8 min	2 320	7,69	1,23	17 800	2 860	0,514
Bi-214	3	19,9 min	1 723	7,69	1,23	13 100	2 100	0,381
Po-214	4	164 μ s	$2,3 \cdot 10^{-4}$	7,69	1,23	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-8}$

Koristeći podatke iz tabele može se napisati sljedeća relacija za ekvivalentnu ravnotežnu koncentraciju radona:

$$c_{eq} = 0,104 c_{Po-218} + 0,514 c_{Pb-214} + 0,381 c_{Bi-214} + 6 \cdot 10^{-8} c_{Po-214} \quad (5)$$

Doprinos koncentracije Po-214 u ovom izrazu je zanemarljiv zbog njegovog vremena poluraspada (165 μ s), što prouzrokuje veoma mali broj njegovih atoma u zraku u odnosu na druge kratkoživeće radonove potomke.

Ravnotežni faktor F je odnos ekvivalentne ravnotežne koncentracije radona c_{eq} i prisutne koncentracije radona c_{Rn} , tj.

$$F = \frac{c_{eq}}{c_{Rn}} \quad (6)$$

Kao nenataloženi udio f_p označava se relativni udio od ukupne koncentracije potencijalne alfa energije (PAEC) koji nastanu u zraku kao produkti raspada radona, a koji se ne talože na aerosolima:

$$f_p = \frac{c_p^f}{c_p} = \frac{c_p^f}{c_p^a + c_p^f} \quad (7)$$

pri čemu je: c_p^a - koncentracija potencijalne alfa energije produkata raspada vezanih za aerosoli, c_p^f - koncentracija potencijalne alfa energije nenataloženih produkata raspada, c_p - suma nenataloženih c_p^f i aerosolno vezanih c_p^a produkata raspada.

3. TEHNIKE MJERENJA POTENCIJALNE KONCENTRACIJE ALFA ENERGIJENENATALOŽENIH PRODUKATA RASPADA

Pri procjeni doze zračenja pluća moraju se pored PEAC-a svakako uzeti u obzir i još mnogobrojni faktori. Razlog tome je činjenica da različita područja pluća imaju različitu osjetljivost na zračenje, što u svakom slučaju zavisi od obima i mjesta taloženja produkata raspada kao i od veličine udahnutih aerosoli. Ovdje su posebno od značaja nenataloženi produkti raspada, koji zbog male veličine i velike difuzione brzine imaju visoku vjerovatnoću taloženja u plućima. Njihov relativni udio na ukupnom PEAC-u se navodi kroz faktor f_p .

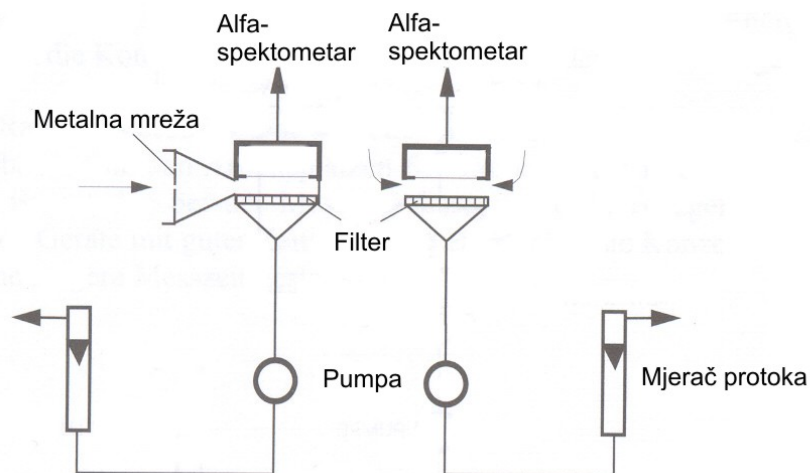
Ovaj faktor se može dobiti mjerenjem i nalazi se, u zavisnosti od osobina aerosli, po pravilu između 0,5% i 20%. Prečnik čestica nestaloženih produkata raspada radona leži između 0,5nm i 5nm sa maksimumom aktivnosti kod oko 0,8nm. Rastavljanje nestaloženog udjela od aerosolnog udjela produkata raspada (prečnik između 10nm i 1000nm) provodi se difuzionim taložnicima. Difuzioni taložnici moraju se tako dimenzionirati i prolaz zraka tako odabrati, da se po mogućnosti svi nestaloženi produkti raspada odvoje, a svi nataloženi da nesmetano prolaze. Ova optimizacija zahtjeva karakteristiku taloženja sa 50% -nim stepenom razdvajanja pri 4-5nm. Mada su prisutni i određeni nedostaci kod ovih mrežnih difuzionih taložnika o kojima se mora voditi računa, ipak su oni našli veliku primjenu u tehnici mjerenja radona i njegovih produkata raspada.

U osnovi za sve postupke mjerenja pri određivanju f_p -faktora važi, da se putem pogodnog postavljanja konstrukcije (nikakvi nastavci za usisavanje) i što je moguće većim protok zraka, gubici na ulazu nenataloženih produkata minimiziraju a pri kalibraciji moraju se eksperimentalno odrediti. Postoje različite tehnike mjerenja nenataloženog udjela ali se u principu one mogu podijeliti na diferencijalne i direktne postupke mjerenja. Kod diferencijalnog postupka mjerenja koncentracije pojedinih produkata raspada određuju se sa dva paralelna, neovisna sistema mjerenja sa filterom i alfa spektrometrom (*slika 1*). Kod

jednog mjernog sistema mrežno-difuzioni taložnik razdvaja nenataložene produkte raspada prije nego što stignu do mjernog filtera. Sa ovim jedan mjerni sistem registruje kako nenataložene, tako i nataložene produkte raspada, dok drugi registruje samo one nataložene na aerosolnoj čestici. Iz pojedinačnih rezultata za c_p i c_p^a dobiva se nenataloženi udio produkata raspada prema sljedećoj relaciji:

$$f_p = \frac{c_p - c_p^a}{c_p} \quad (8)$$

Bitne karakteristike ove mjerne tehnike su: mjerna nesigurnost od oko 15% (bez statistike brojanja); mogućnost primjene pojedinačnih i kontinuiranih mjerenja u stanovima i na radnim mjestima; nisu pogodni za mjerenje nestaloženog udjela produkata raspada kod kojih je vrijednost f_p - faktora manja od 0,03.

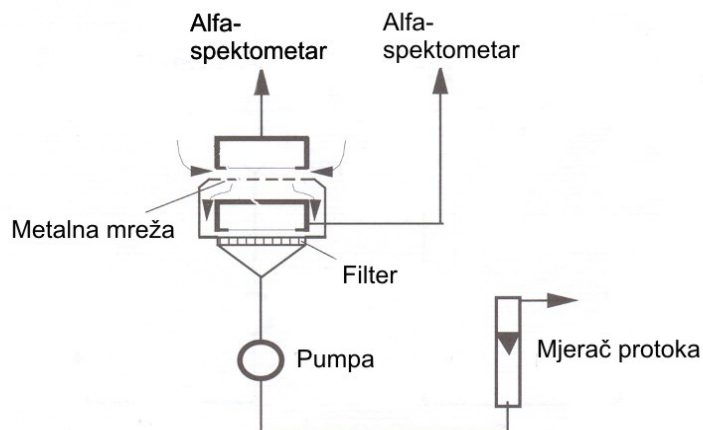


Slika 1. Diferencijalni postupak mjerenja nenataloženog udjela

Kod postupka direktnog mjerenja mjerni zrak prolazi kroz dva sistema za mjerenje pojedinih produkata postavljenih jedan iza drugog (slika 2). Prvi sistem se sastoji iz mrežno-difuznog taložnika i alfa spektrometra i registrira na mreži izdvojene nenataložene produkte raspada. Drugi sistem se sastoji od jednog filtera i jednog alfa spektrometra. On registrira produkte raspada vezane uz aerosoli. Iz oba ova rezultata mjerenja izračunava se nenataloženi udio prema sljedećoj relaciji:

$$f_p = \frac{c_p^f}{c_p^f + c_p^a} \quad (9)$$

Kod ovoga mjernog postupka, mjere se direktno nenataloženi produkti raspada na metalnoj mreži. Zbog toga je ovaj postupak također upotrebljiv za male f_p -vrijednosti. Osim toga ovaj postupak je također pogodan i za kontinuirana mjerenja. Za vrijeme uzimanja uzorka slijedi istovremeno mjerenje aktivnosti i na metalnoj mreži i na filteru.



Slika 2. Postupak direktnog mjerenja nenataloženog udjela

Mjerna nesigurnost u ovom slučaju iznosi 10% i na mjernu nesigurnost utiču sljedeći faktori: geometrijska veličina mreže, brzina strujanja uzorka zraka kroz mrežu, vjerovatnoća detekcije kao i postupak analize rezultata.

5. ZAKLJUČAK

Produkti radioaktivnog raspada radona vežu se na čestice aerosola u unutrašnjem zraku stvarajući radioaktivne aerosole. Nakon što se vežu na čestice aerosola, ponašanje i osobine radonovih potomaka u velikoj mjeri zavisi od čestica aerosola. Kratkoživeći radonovi potomci, bilo da su slobodni ili uhvaćeni od strane aerosola, imaju tendenciju taloženja na raspoloživim površinama koje su u direktnom kontaktu sa unutrašnjim zrakom.

Produkti raspada radona prilikom njegove inhalacije, deponiraju se u plućima, gdje dovode do zračenja bronhija i osjetljivih površinskih slojeva plućnog tkiva. Za zaštitu od zračenja važno je razvijati mjerne postupke, kako za produkte raspada radona nataloženih na aerosolima, isto tako i mjerne postupke za određivanje nenataloženog udjela produkata raspada. Za mjerenje ovog udjela danas su navise u upotrebi mjerni postupci koje koriste mrežno-difuzioni taložnik, iako su i kod njih prisutni određeni nedostaci o kojima se tokom mjerenja mora voditi računa. Za sve postupke mjerenja koji se koriste za određivanje f_p -faktora važno je izabrati tako tehničko rješenje koje će smanjiti gubitke nenataloženih produkata raspada na ulazu u mjerač protoka.

6. LITERATURA

- [1] W.W.Nazaroff, A.V. Nero: *Radon und its Decay Products in Indoor Air*, John Wiley & Sons, 1988;
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP): *Measurement of Radon and Radon Daughters in air*, NCRP Report no 97, 1988;
- [3] Fachverband fur Strahlenschutz e.V.: *Übersicht über die Messung von Radon and Radonfolgeprodukten*, FS-94-75-AKURA, ISSN 1013-4506; 1994;
- [4] F. Adrović, B. Jakupi and P. Vasić: *Measurements of radon concentration*, Radiation Measurements, Vol. 25, Nos 1-4, pp. 643-648, Printed in Great Britain, 1995.