



ЗБОРНИК РАДОВА



XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

2. - 4. октобар 2019. године
Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Дивчибаре
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXX SYMPOSIUM RPSSM
Divčibare
2nd - 4th October 2019**

**Belgrade
2019**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
2-4.10.2019.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник
в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-154-2

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

PROBLEM TORONA I PREDLOG DIREKTNE METODE ODREĐIVANJA KONCENTRACIJE TORONOVIH POTOMAKA

Sofija FORKAPIĆ¹, Robert LAKATOŠ², Igor ČELIKOVIĆ³,
Kristina BIKIT-ŠREDER¹, Dušan MRĐA¹ i Selena SAMARDŽIĆ²

- 1) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija,
sofija@df.uns.ac.rs, kristina.bikit@df.uns.ac.rs, mrdjad@df.uns.ac.rs
- 2) Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,
laki@uns.ac.rs, selena@uns.ac.rs
- 3) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Srbija,
icelikovic@vin.bg.ac.rs

SADRŽAJ

Nedavne studije koje se bave problemom torona pokazuju da toron u vazduhu zatvorenih prostorija dominantno potiče od upotrebljenih građevinskih materijala za izradu i pokrivanje zidova i podova i da koncentracija torona eksponencijalno opada sa rastojanjem od površine zidova. Međutim, usled dužeg perioda poluraspada, toronovi potomci ²¹²Pb i ²¹²Bi imaju homogenu prostornu distribuciju i mogu značajno doprineti bronhijalnoj dozi. U ovom radu je razvijena metoda direktnog određivanja koncentracije toronovih potomaka u vazduhu koja se zasniva na gama-spektrometrijskim merenjima filter papira uz detaljnu analizu i optimizaciju vremena usisavanja, hlađenja i merenja na HPGe detektorskim sistemima. Metoda je validovana kroz uporedna merenja sa aktivnim monitorom koji se najčešće koristi za merenje ravnotežne ekvivalentne koncentracije torona. Ovakav način ispitivanja toronske ravnoteže će doprineti preciznom određivanju doze koju primi stanovništvo od inhalacije torona i potomaka, naročito zbog poznate problematike mogućnosti merenja torona kao kratkoživećeg radionuklida. Rezultati preliminarnog istraživanja problema torona u petnaest odabranih kuća pokazuju da su procenjene doze od udisanja torona uporedive sa dozama koje stanovništvo primi od udisanja radona i da toron mora biti obuhvaćen u budućim monitorinzima radona.

1. Uvod

Dugo se smatralo da toron ne dospeva u zatvorene prostorije usled kratkog perioda poluraspada od 55,8(3)s [1] ili da ne doprinosi povećanju doze koju primi čovek boraveći u takvim prostorijama. Novija istraživanja ukazuju na to da prisustvo torona i njegovih potomaka nije zanemarljivo [2-4] i da uglavnom potiče od građevinskog materijala u zidovima (ili podu) prostorije [5-6]. Toronovi potomci, kao i radonovi, mogu da se nalaze u nepripojenoj frakciji (klasteri dijametara 0,3 - 4 nm) ili pripojeni aerosolima dijametara 20-3000 nm [7]. Potomak torona ²¹²Pb, koji doprinosi sa 91% EETC, je beta emiter koga je moguće detektovati gama spektrometrijski usled postojanja dovoljno intenzivnog gama prelaza. Toronovi potomci ²¹²Pb i ²¹²Bi u

zatvorenoj atmosferi su dominantno pripojeni za čestice aerosola zbog relativno dugog perioda poluraspada. Standardni filteri za uzorkovanje vazduha pumpama visokog protoka izrađeni su od staklenih vlakana i obezbeđuju veliku efikasnost filtracije i za pripojenu i za nepripojenu frakciju toronovih potomaka [8]. Iako su najpopularnije tehnike za merenje toronovih potomaka pasivni integralni uređaji [2, 4, 9], za ovo istraživanje odabrana je mnogo brža i preciznija tehnika gama-spektrometrije zbog visoke spektralne rezolucije kojom se takođe izbegavaju i grananja u raspadu torona.

U ovom radu, modifikovan je i optimizovan algoritam prethodno razvijen za određivanje radonske ravnoteže [10], kako bi se opisalo i rešilo nakupljanje toronovih potomaka na filter papiru tokom usisavanja vazduha. Predloženi metod za direktno određivanje toronovih potomaka primenjen je u 15 različitih kuća, tj. soba, izabranih na osnovu prethodnih merenja radona. Kontinualna merenja koncentracije torona i uzorkovanje vazduha kroz filter papir sprovedena su u dnevnim sobama u prizemlju ispitivanih kuća, bez prisustva podruma ispod ispitivane prostorije, u približno istim vremenskim uslovima.

2. Metodologija uzorkovanja i merenja

Merenja su vršena tokom proleća i jeseni 2017. godine u stambenim kućama različite konstrukcije sa povišenim, srednjim i niskim koncentracijama radona, u gradskim i seoskim sredinama. Usisni ulaz aktivnog uređaja RAD7 prilikom merenja torona postavljan je na oko 30 cm iznad poda i zidova. Koncentracija torona u takvim zatvorenim prostorijama određuje se na osnovu odbroja raspada ^{216}Po unutar aktivne komore uređaja. Izmerene vrednosti su korigovane na raspad torona u dodatnoj zapremini u odnosu na standardnu postavku za koju je instrument kalibrisan. Merenje torona ovim uređajem je verifikovano učešćem u interkomparaciji u Institutu NRPI u Pragu, Češka, gde su dobijena zadovoljavajuća slaganja rezultata ($|\text{zeta score}| < 2$). Vreme uzorkovanja potomaka na fiber-glass filter papiru velike efikasnosti prikupljena 98% iznosilo je 1h sa protokom pumpe od $v=0,03$ m/s. Gama spektrometrijska merenja filtera izvršena su pomoću HPGe detektora relativne efikasnosti 100% u cilindričnoj geometriji. Za određivanje aktivnosti koriste se dominantne gama linije toronovih potomaka ^{212}Pb i ^{212}Bi sa energijama 238,6 keV, $p_\gamma=43,6\%$ i 727,3 keV, $p_\gamma=6,65\%$, respektivno. Diferencijalne jednačine koje opisuju prikupljanje toronovih potomaka na filter papiru tokom vremena uzorkovanja t_s definisane su na sledeći način:

$$\frac{dN_{Pb}}{dt_s} = n_{Pb}v\varepsilon - \lambda_{Pb}N_{Pb} \quad (1)$$

$$\frac{dN_{Bi}}{dt_s} = n_{Bi}v\varepsilon + \lambda_{Pb}N_{Pb} - \lambda_{Bi}N_{Bi} \quad (2)$$

gde su: t_s - vreme uzorkovanja u sekundama, v - protok pumpe uzorkivača u m^3/s , ε - efikasnost prikupljanja filter papira, N_{Pb} , N_{Bi} - broj $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ atoma na filter papiru tokom prikupljanja, n_{Pb} , n_{Bi} - broj atoma $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ po m^3 uzorkovanog vazduha, λ_{Pb} , λ_{Bi} - konstante raspada $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$. Za proveru ove tvrdnje urađena su QA/QC merenja za 4 različita vremena usisavanja (15 min, 30 min, 1 h i 2 h) u istim uslovima zatvorene prostorije. Ukoliko pretpostavimo da je na početku prikupljanja broj atoma na filter papiru nula, odnosno, $N_{Pb}(0)=0$, $N_{Bi}(0)=0$, dobijamo sledeći set jednačina:

$$N_{Pb} = n_{Pb} \frac{\varepsilon v}{\lambda_{Pb}} (1 - e^{-\lambda_{Pb}t_s}) \quad (3)$$

$$N_{Bi} = n_{Pb} \frac{\varepsilon_V}{\lambda_{Bi}} \left(1 - \frac{\lambda_{Bi}}{\lambda_{Bi} - \lambda_{Pb}} e^{-\lambda_{Pb} t_s} + \frac{\lambda_{Pb}}{\lambda_{Bi} - \lambda_{Pb}} e^{-\lambda_{Bi} t_s} \right) + n_{Bi} \frac{\varepsilon_V}{\lambda_{Bi}} (1 - e^{-\lambda_{Bi} t_s}) \quad (4)$$

Nakon isključenja pumpe, toronovi potomci koji su prikupljeni na filter papiru počinju da se raspadaju tokom vremena hlađenja i vremena merenja i broj atoma ^{212}Pb i ^{212}Bi na filteru može se opisati sledećim jednačinama:

$$\frac{dN'_{Pb}}{dt'} = -\lambda_{Pb} N'_{Pb}, \quad (5)$$

$$\frac{dN'_{Bi}}{dt'} = \lambda_{Pb} N'_{Pb} - \lambda_{Bi} N'_{Bi} \quad (6)$$

čija su rešenja oblika:

$$N'_{Pb}(t') = N_{Pb} e^{-\lambda_{Pb} t'} \quad (7)$$

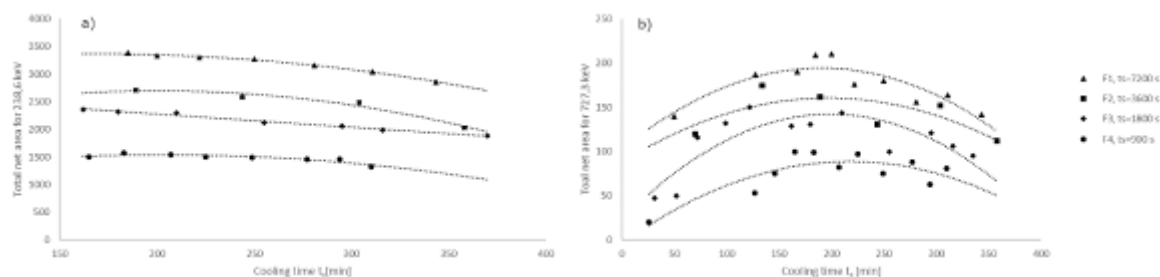
$$N'_{Bi}(t') = N_{Pb} \frac{\lambda_{Pb}}{\lambda_{Bi} - \lambda_{Pb}} (e^{-\lambda_{Pb} t'} - e^{-\lambda_{Bi} t'}) + N_{Bi} e^{-\lambda_{Bi} t'} \quad (8)$$

gde N_{Pb} i N_{Bi} predstavljaju broj atoma potomaka na filter u momentu isključivanja pumpe, na kraju usisavanja. Ukupna površina selektovanog gama pika, koji odgovara toronovom potomku, N_d predstavlja razliku neraspadnutih jezgara nakon vremena hlađenja $t'=t_c$ i neraspadnutih jezgara nakon vremena hlađenja i merenja $t'=t_{cm}$.

$$\frac{N_{d(Pb)}}{\varepsilon_1 p_{\gamma 1}} = N'_{Pb}(t_c) - N'_{Pb}(t_{cm}) \quad (9)$$

$$\frac{N_{d(Bi)}}{\varepsilon_2 p_{\gamma 2}} = N'_{Bi}(t_c) - N'_{Bi}(t_{cm}) \quad (10)$$

gde su $N_{d(Pb)}$, $N_{d(Bi)}$ - odbroj ispod pika 238,6 keV i 727,3 keV; ε_1 , ε_2 - efikasnost dektektora 238,6 keV and 727,3 keV; $p_{\gamma 1}$, $p_{\gamma 2}$ - gama prinosi za 238,6 keV i 727,3 keV tranzicione linije, respektivno. Za rešavanje ovog razvijenog matematičkog modela korišćen je softverski paket Mathematica. Kako bi se pronašlo optimalno vreme za koje će aktivnost potomaka na filter papiru biti maksimalna, izvršena je serija sukcesivnih merenja gama aktivnosti filter papira za različita vremena usisavanja (slika 1).



Slika 1a i 1b. a) ukupan odbroj linije 238,6 keV u funkciji od vremena hlađenja za filtere sa različitim vremenima uzorkovanja t_s ; b) ukupan odbroj linije 727,3 keV u funkciji od vremena hlađenja za filtere sa različitim vremenima uzorkovanja t_s .

Uticaj visoke koncentracije radonovih potomaka u ispitivanoj prostoriji uzet je u obzir prilikom obrade spektara i došlo se do zaključka da za liniju ^{212}Pb potomka (od 238,6 keV) dolazi do greške prilikom očitavanja odbroja ispod pika usled preklapanja sa linijom 241,9 keV koja potiče od radonovog potomka ^{214}Pb . Kako je period poluraspada radonovog potomka značajno kraći (oko 26 min) dovoljno je sačekati oko 150 min i tek

onda očitavati vrednost površine ispod pika za ispitivanu liniju od 238,6 keV. Kao što je prikazano na slici 1b maksimum aktivnosti koncentracije ^{212}Bi dostiže se približno u periodu od 200-300 min nakon završetka usisavanja za sve ispitivane filtere (filteri F1, F2, F3 i F4 sa različitim vremenima usisavanja $t_s=900$ s, 1800 s, 3600 s i 7200 s, respektivno). Nakon vremena 300 min od početka hlađenja odbroj počinje da opada i vrednosti koje se dobijaju za EETC postaju nerealne. Preporučeno vreme hlađenja dobijeno ovom metodom u dobrom je slaganju sa rezultatima u literaturi koji su dobijeni alfa i beta spektrometrijskim metodama direktnog merenja toronovih potomaka baziranih na filtriranju vazduha [11]. Uporedo sa uzorkovanjem vazduha, vršena su i merenja torona sa aktivnim monitorom RPM2200. Usled činjenice da filterovanje vazduha ima velik uticaj na EETC u vazduhu (velik protok pumpe i velika efikasnost filter papira), za poređenje su uzeta merenja RPM2200 jedan sat pre usisavanja, tokom usisavanja i dva sata nakon usisavanja vazduha. Kako bi se uporedile vrednosti EETC rezultata izračunat je modifikovani zeta score (z'_{score}) korišćenjem sledeće formule:

$$z'_{score} = (EETC(RPM2200)_{av}) - EETC(GAMMA\ metod)_{calculated} / \sqrt{\sigma^2 + u^2} \quad (11)$$

gde je $EETC(RPM)_{av}$ aritmetička sredina RPM2200 očitana jedan sat pre i dva sata nakon usisavanja sa standardnom devijacijom σ i $EETC(GAMMA\ metod)_{calculated}$ je izračunata vrednost EETC na osnovu GAMMA metoda sa greškom merenja u . Merna nesigurnost u ima malu vrednost zato što je posledica samo statističke greške ukupne površine ispod gama pika i nesigurnosti efikasnosti detekcije.

Tabela 1. Interkomparacija EETC rezultata.

Opis	EETC [Bq/m ³]			
	Filter F1	Filter F2	Filter F3	Filter F4
RPM2200 rezultat - 1 h pre filtriranja:	7,59	7,84	12,96	6,37
RPM2200 rezultat - 2 h nakon filtriranja:	9,53	8,43	6,15	6,32
Srednja vrednost RPM2200	8,56	8,14	9,56	6,34
Standardna devijacija σ	1,37	0,42	4,82	0,04
Vreme uzorkovanja t_s (s)	7200	3600	1800	900
Izračunata EETC (GAMMA metod)	8,16	7,62	8,73	5,19
Procenjena greška u (GAMMA metod)	0,16	0,13	0,12	0,17
z'_{score} :	0,29	1,18	0,17	6,58
Relativna greška	- 6 %	- 6 %	- 9 %	- 18 %

Zadovoljavajuće slaganje rezultata ($|zeta\ score| < 1$) dobijenih sa dve nezavisne tehnike detekcije je uočeno za tri vremena uzorkovanja ($t_s = 7200$ s; 3600 s and 1800 s). Dok za najkraće vreme uzorkovanja od 900 s, $|zeta\ score| > 3$ ukazuje na nezadovoljavajuće slaganje rezultata sa najvećim relativnim odstupanjem od - 18%. Na osnovu ovih rezultata i prethodnih zaključaka za optimalni odnos registrovanog odbroja i trajanja uzorkovanja, može se preporučiti standardno vreme uzorkovanja od 1 h.

3. Rezultati

Koncentracije torona C_{Tn} (Bq/m^3), ravnotežne ekvivalentne koncentracije torona EETC (Bq/m^3), faktori ravnoteže F_{Tn} za 15 ispitivanih objekata i procenjene doze prikazane su u tabeli 2. Godišnja efektivna doza AED za inhalaciju torona može se odrediti na osnovu parametara definisanih UNSCEAR Report-om 2000:

$$AED \left[\frac{mSv}{yr} \right] = EETC \cdot D_{CF} \cdot I_{OC} \quad (12)$$

gde je D_{CF} dozni konverzioni faktor za izlaganje toronu ($40 \text{ nSv}/(Bq \text{ h m}^{-3})$) i I_{OC} predstavlja okupaciono vreme ($\approx 7000 \text{ h/yr}$). Aritmetička sredina EETC iznosi $2,955 \text{ Bq}/m^3$ što je u dobrom slaganju sa nedavno objavljenim rezultatima [12]. Najveća koncentracija torona izmerena je u staroj kamenoj planinskoj kući koja ima lošu izolaciju podova (lokacija RAD1). Vrednost F_{Tn} varirala je u opsegu od 0,0047 do 0,098 sa aritmetičkom sredinom od 0,0338. Dobijena srednja vrednost u dobrom je slaganju kako sa preporučenom UNSCEAR vrednošću od 0,02 i takođe sa vrednošću procenjene na osnovu velike baze podataka dugovremenskih merenja torona i njegovih potomaka od $0,04 \pm 0,01$ [5]. Korišćenjem Spirmanovog testa korelacije u programskom paketu SPSS, utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost između koncentracije torona i EETC, odnosno $r_s=0,036$, $p>0,05$, $R^2=0,113$. Disperzija vrednosti može da se objasni velikom zavisnošću koncentracije torona od trenutnih parametara okoline, brzine izmene vazduha i tipa gradnje [7].

Tabela 2: Rezultati merenja koncentracije torona i EETC dobijene pomoću GAMMA metoda sa procenom doze od inhalacije toronovih potomaka.

Lokacija	C_{Tn} (Bq/m^3)	EETC (Bq/m^3)	F_{Tn}	AED (mSv/yr)
SM1	77(10)	7,08(12)	0,092(12)	2,0(4)
SM2	77(10)	1,46(8)	0,019(27)	0,41(8)
SM3	38(8)	2,43(15)	0,064(14)	0,68(20)
BP1	77(10)	0,40(6)	0,0052(10)	0,11(3)
K2	38(8)	0,28(7)	0,0073(24)	0,078(23)
P1	58(10)	3,02(12)	0,052(9)	0,85(21)
SAJ1	76(10)	0,48(9)	0,0063(14)	0,134(25)
BE1	152(12)	0,71(11)	0,0047(8)	0,200(23)
DM1	114(10)	1,27(18)	0,0111(19)	0,36(4)
TM1	77(10)	0,47(9)	0,0061(14)	0,132(24)
KI2	83(10)	1,49(15)	0,0180(28)	0,42(7)
SU7	116(11)	6,64(8)	0,057(5)	1,86(25)
SU8	77(10)	0,89(9)	0,0116(19)	0,25(5)
RAD1	116(10)	11,34(12)	0,098(8)	3,2(4)
VR1	116(10)	6,36(19)	0,055(5)	1,78(22)

4. Zaključak

Glavna svrha sprovedene studije radona i torona na 15 različitih lokacija, sa različitim ambijentalnim uslovima, bila je proveriti pouzdanost i primenljivost predloženog GAMA metoda. Rezultati istraživanja su pokazali da povišene vrednosti torona u zatvorenim prostorijama, kao i njegovih potomaka, nisu retkost u porodičnim kućama, naročito na onim mestima gde je prethodno detektovana povišena koncentracija radona (lokacije VR1 i RAD1). Visoke vrednosti toronovih potomaka detektovane su i u kućama sa umerenom koncentracijom radona (lokacije SM2 i SU7), što govori u prilog činjenici da postoje različiti izvori radona i torona u ispitivanim kućama. Procenjene vrednosti za dozu od inhalacije torona na nekim lokacijama uporedive su sa dozom koja potiče od inhalacije radona i na taj način potvrđuje se toronski problem u zaštiti od prirodnih jonizujućih zračenja, što bi trebalo uzeti u obzir u daljim programima merenja.

5. Zahvalnica

Rad je finasiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekat OI171002 i III 43002).

6. Literatura

- [1] Laboratoire National Henri Becquerel [WWW Document], 2018. Gif-sur -Yvette, Fr. URL <http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>
- [2] J. Chen, D. Moir, A. Sorimachi, M. Janik, S. Tokonami. Determination of thoron equilibrium factor from simultaneous long-term thoron and its progeny measurements. *Radiat. Prot. Dosim.* Vol. 149, Issue 2, 2012, 155–158.
- [3] A. Clouvas, S. Xanthos, M. Antonopoulos-Domis. Simultaneous measurements of indoor radon, radon-thoron progeny and high-resolution gamma spectrometry in Greek dwellings. *Radiat. Prot. Dosim.* Vol. 118, Issue 4, 2006, 482–490.
- [4] S. Gierl, O. Meisenberg, P. Feistenauer, J. Tschiersch. Thoron and thoron progeny measurements in German clay houses. *Radiat. Prot. Dosim.* Vol. 160, 2014, 160–163.
- [5] M. Hosoda, H. Kudo, K. Iwaoka, R. Yamada, T. Suzuki, Y. Tamakuma, S. Tokonami. Characteristic of thoron (^{220}Rn) in environment. *Appl. Radiat. Isot.* Volume 120, 2017, 7-10.
- [6] V. Urosevic, D. Nikezic, S. Vulovic. A theoretical approach to indoor radon and thoron distribution. *J. Environ. Radioact.* Volume 99, Issue 12, 2008, 1829-1833.
- [7] O. Meisenberg, J. Tschiersch. Specific properties of a model of thoron and its decay products in indoor atmospheres. *Nukleonika*, 55(4), 2010, 463–469.
- [8] K. Willeke, P.A. Baron. Aerosol measurement: principles, techniques, and applications, Published in 1993 in New York.
- [9] R. Mishra, Y.S. Mayya. Study of a deposition-based direct thoron progeny sensor (DTPS) technique for estimating equilibrium equivalent thoron concentration (EETC) in indoor environment. *Radiat. Meas.* Volume 43, Issue 8, 2008, 1408-1416.

- [10] S. Forkapić, D. Mrdja, M. Vesković, N. Todorović, K. Bikit, J. Nikolov, J. Hansman. Radon equilibrium measurement in the air. *Rom. Reports Phys.* Vol. 58, Supplement, P, 2013, S140–S147.
- [11] S. Chalupnik, K. Skubacz, P. Urban, M. Wysocka. Measurements of Airborne Concentrations of Radon and Thoron Decay Products, *Radiat. Prot. Dosim.* 177, 2017, 45–48.
- [12] K. Skeppström, E. Wåhlin. Is thoron a problem in Swedish dwellings? Results of measurements of concentrations of thoron and its progeny. *Radiat. Prot. Dosim.* 167, 2015, 107–110.

THORON PROBLEM AND PROPOSAL OF METHOD FOR DIRECT DETERMINATION OF THE THORON PROGENY CONCENTRATIONS

Sofija FORKAPIĆ¹, Robert LAKATOŠ², Igor ČELIKOVIĆ³, Kristina BIKIT-ŠREDER¹, Dušan MRĐA¹ and Selena SAMARDŽIĆ²

1) University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

sofija@df.uns.ac.rs, kristina.bikit@df.uns.ac.rs, mrdjad@df.uns.ac.rs

2) University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

laki@uns.ac.rs, selena@uns.ac.rs

3) University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Serbia

icelikovic@vin.bg.ac.rs

ABSTRACT

Recent studies focused on thoron have shown that indoor thoron originates mainly from building materials and that thoron concentrations exponentially decrease with a distance from a wall surface. However, due to longer half-lives of thoron progenies, ^{212}Pb and ^{212}Bi , which are mainly responsible for the bronchial dose, it is expected that their spatial distribution is homogeneous. In this paper, we have developed and optimized a method for direct measurement of thoron progenies concentrations based on an air filtration followed by gamma spectrometry measurements. The method is validated through comparative measurements with an active monitor, which is most often used to measure the equilibrium equivalent thoron concentration. The results of the preliminary study of the thoron problem in fifteen selected homes show that the estimated doses from inhalation of thoron progenies are comparable with the doses that the population receives from radon inhalation and that the thoron must be included in future radon monitoring.