

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



**ЗБОРНИК
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Сребрно језеро
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG
Srebrno jezero
27- 29. September 2017**

**Belgrade
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
27-29.09.2017.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

POREĐENJE REZULTATA MERENJA KONCENTRACIJE RADONA POMOĆU UGLJENIH KANISTERA I TRAG DETEKTORA

**Miloš ŽIVANOVIĆ, Gordana PANTELIĆ, Milica RAJAČIĆ, Jelena KRNETA
NIKOLIĆ, Dragana TODORVIĆ**

*Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne
sredine, Univerzitet u Beogradu, Srbija, milosz@vinca.rs*

SADRŽAJ

Ugljeni kanisteri se često koriste kao pasivni detektori za određivanje koncentracije ²²²Rn. Merenja pomoću ugljenih kanistera najčešće traju 2-3 dana, što omogućava brzo dobijanje rezultata, ali je metoda osetljiva na različite uticaje, kao što su visoka vlažnost vazduha, ekstremne temperature, promena koncentracije radona itd. Upravo zbog toga je od velikog značaja poređenje u realnim uslovima ove metode sa drugim metodama, kao što je merenje pomoću trag detektora. Međutim, veoma različita vremena merenja otežavaju ovakvu proceduru.

U Institutu za nuklearne nauke „Vinča“ su četiri trag detektora bila postavljena u periodu od 7, odnosno 13 meseci. U istom periodu su kontinuirano menjani ugljeni kanisteri, najčešće dvaput nedeljno. Ovi rezultati su omogućili da se izvrši poređenje metoda, pri čemu su za proračun rezultata za metodu pomoću ugljenih filtera korišćene kalibracione krive i za statičnu atmosferu i za aktivnu atmosferu. Poređenje je pokazalo da ne postoji statistički značajna razlika između metoda bilo koje kalibracione krive da se koriste, s tim što se bolje poklapanje dobija korišćenjem krivih za aktivnu atmosferu.

1. UVOD

Koncentracija radona u zatvorenom prostoru se meri pomoću ugljenih filtera duže od 30 godina. Merenja se zasnivaju na činjenici da se radon adsorbuje na aktivnom uglju, što je prvi put primenjeno od strane Artura Iva ubrzo po otkriću radona, a po predlogu Ernesta Raderforda [1]. Trenutno je u primeni više različitih metoda zasnovanih na korišćenju različitih tipova ugljenih kanistera, a u Srbiji je najzastupljenija EPA metoda sa otvorenim (open-faced) kanisterima (u daljem tekstu: EPA metoda) [2].

Ova metoda omogućava relativno brza merenja, koja traju 2 do 6 dana. Zasniva se na izlaganju ugljenog kanistera na mestu na kome se određuje koncentracija radona i potonjem gama-spektrometrijskom merenju koncentracije radonovih potomaka u aktivnom uglju. Na osnovu kalibracije spektrometrijskog sistema, koncentracija radonovih potomaka u aktivnom uglju se dovodi u vezu sa koncentracijom radona u vazduhu na mernom mestu [3].

EPA metoda je jeftina i jednostavna za izvođenje i ne zahteva merenje temperature, vlažnosti ili drugih parametara na mestu na kome se određuje koncentracija radona. Takođe nije potrebno koristiti baterije ili izvor električne energije na mernom mestu, a postavljanje kanistera mogu izvršiti i laici. Zbog toga se ovi kanisteri često šalju poštom korisnicima, a tako se i vraćaju na gama spektrometrijsko merenje [3].

Kada je u pitanju samo gama-spektrometrijsko merenje, moguće je koristiti i natrijum-jodidne (NaI) spektrometre, što smanjuje troškove izvođenja metode. Najveći problem predstavlja kalibracija kanistera, ali oni često dolaze od proizvođača sa

izrađenim kalibracionim krivama (što je slučaj i sa kanisterima korišćenim u INN „Vinča“). Ovakvi kanisteri se često recikliraju zagrevanjem i mogu se koristiti više puta [2, 3].

EPA metoda se uglavnom smatra „skrining“ metodom, odnosno najčešće se koristi za identifikaciju mesta na kojima se sumnja da postoji povećana koncentracija radona u vazduhu, a zatim se obavljaju merenja dugotrajnim metodama. Vrlo često se za ove svrhe koriste trag detektori. Razlog za nepoverenje u rezultate koje pokazuje EPA metoda je uticaj vlažnosti vazduha na rezultate, zatim uticaj promene koncentracije radona, uticaj temperature, pogrešna primena kalibracionih krivih itd [4, 5]. Međutim, drugi autori su primetili zadovoljavajuće ponašanje ovakvih detektora u različitim okruženjima sa mernom nesigurnošću uporedivom sa drugim metodama [6, 7].

U ovom radu su poređeni rezultati dobijeni pomoću ugljenih kanistera i trag detektora na dva merna mesta u zgradi laboratorije u INN „Vinča“. Po saznanjima autora ovog rada, poređenje kao što je opisano u daljem tekstu do sada nije rađeno nigde u svetu.

2. PROBLEMATIKA POREĐENJA MERENJA UGLJENIM KANISTERIMA I TRAG DETEKTORIMA

Poređenje rezultata dobijenih ugljenim kanisterima i trag detektorima je izuzetno komplikovano činjenicom da ove metode imaju vrlo različita vremena merenja. Kao što je navedeno, prema EPA metodi, kanisteri se postavljaju u trajanju od 2 do 6 dana. S druge strane, trag detektori se najčešće postavljaju na 6 ili 12 meseci. Kako koncentracija radona značajno varira i sezonski, ali i u kraćim vremenskim intervalima, vrednost dobijena ugljenim kanisterom može da se razlikuje za nekoliko puta od usrednjenih vrednosti dobijenih trag detektorima. Čak i ako se merenja ugljenim kanisterima ponove nekoliko puta, obično je nemoguće reći da li eventualne razlike potiču od metoda ili loše statistike. Zbog toga, da bi se izvršilo poređenje ove dve metode u realnim uslovima, neophodno je neprestano menjati ugljene kanistere tokom celog izlaganja trag detektora.

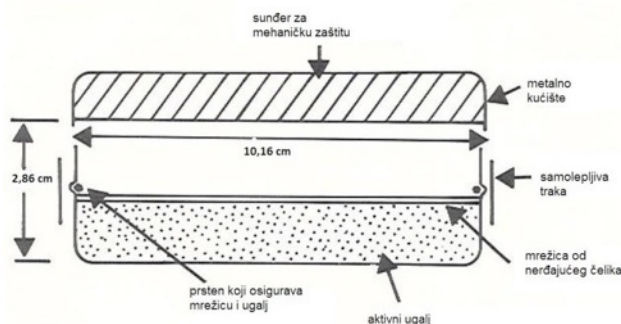
3. METODE I EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Za potrebe poređenja, odabrane su dve lokacije u zgradi laboratorije u INN „Vinča“. Prostor je klimatizovan, s tim što klima uređaj radi samo u toku radnog vremena. Prostor se zimi primarno greje radijatorima, koji takođe rade samo u radno vreme. Deo prostorija se često provetrava, a leti su prozori stalno otvoreni. Drugi deo prostorija je bez prozora i ima samo veštačku ventilaciju. S obzirom na to da je merna kampanja trajala duže od godinu dana, merenja su izvođena u širokom opsegu temperatura, vlažnosti vazduha i vazdušnog pritiska.

Na slici 1 je prikazana uprošćena šema zgrade sa obeleženim mernim tačkama. U prvom merenju je bilo postavljeno 8 kanistera, a zatim su izabrane dve lokacije koje su reprezentativne za određene delove zgrade: K2 za deo sa veštačkom ventilacijom i K5 za deo sa prirodnom ventilacijom. Na obe lokacije je izvršeno ukupno po 118 merenja ugljenim kanisterima i po 2 merenja trag detektorima u ukupnom trajanju od 14 meseci. U kampanji su korišćeni ugljeni kanisteri sa konstrukcijom kao što je prikazano na slici 2. Za gama spektrometrijsko merenje je korišćen NaI spektrometar u jednodanalnom modu. Korišćeni su reciklirani kanisteri. S obzirom na to da je proizvođač uz kanistere isporučio EPA kalibracione krive, izračunati su rezultati koncentracija radona i primenom krivih za statičnu atmosferu i primenom krivih za aktivnu atmosferu.



Slika 1. Šema objekta u kome je provedena merna kampanja



Slika 2. Konstrukcija otvorenog ugljenog kanistera (ilustracija preuzeta iz[3])

Kada su u pitanju trag detektori, korišćena su 4 CR-39 detektora. Oni su bili izloženi 7, odnosno 13 meseci i po završetku izlaganja su očitani u kompaniji Landauer u Švedskoj.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabelama 1 i 2 je prikazano poređenje rezultata ugljenih kanistera i trag detektora. U prvoj tabeli su rezultati dobijeni korišćenjem kalibracije za statičku atmosferu, a u drugoj za aktivnu atmosferu. Za trag detektore su prikazani rezultati koji odgovaraju pojedinačnim merenjima, dok su za ugljene kanistere prikazane srednje vrednosti velikog broja merenja. Merne nesigurnosti su prikazane sa faktorom pokrivanja $k = 2$.

Iz tabela je moguće primetiti da se rezultati dobijeni pomoću dve metode dobro slažu, jer su sve apsolutne vrednosti z-testa manje od 2 (što odgovara približno nivou poverenja od 95%). Drugi zaključak je da se rezultati dobijeni pomoću ugljenih kanistera ne razlikuju statistički značajno od rezultata dobijenih trag detektorima bilo da se primene kalibracione krive za statičnu ili aktivnu atmosferu, iako je podudaranje bolje kada se koriste krive za aktivnu atmosferu. Ovaj zaključak se podudara sa zvaničnom preporukom EPA [8].

Tabela 1. Rezultati poređenja uz korišćenje kalibracije za statičnu atmosferu

| Lokacija detektora | Period postavljanja | A_{rn} (ugljeni kanisteri) [Bq/m ³] | A_{rn} (trag detektori) [Bq/m ³] | Vrednost z-testa |
|--------------------|------------------------|---|--|------------------|
| K2 | 25.9.2015 – 26.4.2016. | 262 ± 29 | 228 ± 27 | 1,72 |
| K5 | 25.9.2015 – 26.4.2016. | 167 ± 18 | 145 ± 17 | 1,78 |
| K2 | 31.3.2015 – 26.4.2015. | 255 ± 28 | 232 ± 28 | 1,72 |
| K5 | 31.3.2015 – 26.4.2015. | 165 ± 18 | 144 ± 17 | 1,72 |

Tabela 2. Rezultati poređenja uz korišćenje kalibracije za pokretnu atmosferu

| Lokacija detektora | Period postavljanja | A_{rn} (ugljeni kanisteri) [Bq/m ³] | A_{rn} (trag detektori) [Bq/m ³] | Vrednost z-testa |
|--------------------|------------------------|---|--|------------------|
| K2 | 25.9.2015 – 26.4.2016. | 209 ± 23 | 228 ± 27 | -1,07 |
| K5 | 25.9.2015 – 26.4.2016. | 132 ± 15 | 145 ± 17 | -1,15 |
| K2 | 31.3.2015 – 26.4.2015. | 201 ± 22 | 232 ± 28 | -1,74 |
| K5 | 31.3.2015 – 26.4.2015. | 130 ± 14 | 144 ± 17 | -1,27 |

5. ZAKLJUČAK

U INN Vinča je po prvi put izvršeno poređenje rezultata merenja koncentracije radona u vazduhu pomoću trag detektora i ugljenih kanistera tako što su ugljeni kanisteri kontinuirano menjani. Pored toga, poređenje je obavljeno u realnim uslovima, a ne u radonskoj komori, što je omogućilo veći raspon temperatura, vlažnosti vazduha, promene koncentracije radona itd.

Rezultati poređenja su pokazali da ne postoji statistički značajna razlika između metoda, uzevši u obzir prijavljene merne nesigurnosti ito u širokom opsegu uslova. Ipak, ovaj zaključak nije proveren u ekstremnim uslovima (kako ambijentalnim, tako i uslovima promene koncentracije radona itd.), što treba uzeti u obzir preko preporuka za postavljanje kanistera. Takođe je potrebno izvršiti dodatna merenja da bi se bolje odredile granice primenljivosti ugljenih filtera, ali i drugih merila koncentracije radona.

Tokom merne kampanje je primećeno da se veliki broj pojedinačnih merenja ugljenim kanisterima značajno razlikuje od srednjih vrednosti, u nekim slučajevima čak i za red veličine. Zbog toga, uprkos tome što se srednje vrednosti dobijene različitim metodama ne razlikuju statistički značajno, pojedinačna merenja nisu dobar pokazatelj srednjih godišnjih koncentracija radona. Ovaj problem se može delimično prevazići tako što bi se merenje obavljalo u najgorim uslovima (u toku zime, sa zatvorenim prozorima i vratima), a ovakvi rezultati su značajni za odabir lokacija za dugotrajna merenja.

6. ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata III43009 "Nove tehnologije za monitoring i zaštitu životnog okruženja od štetnih hemijskih supstanci i radijacionog opterećenja".

7. LITERATURA

- [1] George, A.C., World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today, Proceedings, AIP Conference Proceedings, Rio de Janeiro, Brasil, 2008
- [2] Pantelić, G., Živanović, M., Krneta Nikolić, J., Eremić Savković, M., Rajačić, M., Todorović, D., Chapter 9: Indoor Radon Activity Concentration Measurement Using Charcoal Canister, in: Radon, Geology, Environmental Impact and Toxicity Concerns, Nova Publishers, New York, USA, 2015, ISBN: 978-1-63463-742-8
- [3] Gray, D.J., Windham, S.T., EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, EPA 520/5-87-005, 1987
- [4] Jenkins, P.H., A Critique of the "EPA Method" for Analyzing and Calibrating Charcoal Canisters for Radon Measurements, Proceedings, 2002 International Radon Symposium Proceedings, American Association of Radon Scientists and Technologists, Inc., USA, 2002
- [5] Ronca-Battista, M., Gray, D., The Influence of Changing Exposure Conditions on Measurements of Radon Concentrations With the Charcoal Adsorption Technique, *Radiation Protection Dosimetry*, 24(1), pp. 361-365, 1988
- [6] George, A.C., Field Test Experience with Charcoal Canisters for Measuring 222Radon in Air, AARST 2000 International Radon Symposium, Milwaukee, USA, 2000
- [7] Pantelić, G., Eremić Savković, M., Živanović M., Nikolić, J., Rajačić, M., Todorović, D., Uncertainty Evaluation in Radon Concentration Measurement Using Charcoal Canister, *Applied Radiation and Isotopes*, 87, pp. 452-455, 2014
- [8] EPA, Addendum to the EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, United States Environmental Protection Agency, 1989

**COMPARISON OF RESULTS OF INDOOR RADON
CONCENTRATION OBTAINED BY CHARCOAL CANISTERS AND
TRACK ETCH DETECTORS**

**Miloš ŽIVANOVIĆ, Gordana PANTELIĆ, Milica RAJAČIĆ, Jelena KRNETA
NIKOLIĆ, Dragana TODORVIĆ**

*Vinca Institute of Nuclear Sciences, Department of Radiation and Environmental
Protection, University of Belgrade, Serbia, milosz@vinca.rs*

ABSTRACT

Charcoal canisters are often used as passive detectors for determination of concentration of ^{222}Rn . Measurements with charcoal canisters often last 2-3 days, which provides a fast result, but the method is sensitive to many influences, such as high air humidity, extreme temperatures, change of radon concentration etc. This is why the comparison of this method with other methods in realistic conditions is of great importance. However, different measurement times make this comparison complicated. Four track etch detectors were deployed in Vinca Institute of Nuclear Sciences for 7 and 13 months. In the same period, charcoal canisters were continuously changed, usually two times each week. These results allowed comparing the two methods, while the results for charcoal canisters were obtained by using calibration curves for both static and active atmosphere. The comparison showed that there is no statistically significant difference no matter which curves are used. The differences are smaller if the curves for active atmosphere are used.