



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.

METRORADON- ПРОЈЕКАТ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ МЕРЕЊА РАДОНА У ЕВРОПИ

**Гордана ПАНТЕЛИЋ, Милош ЖИВАНОВИЋ, Игор ЧЕЛИКОВИЋ,
Јелена КРНЕТА НИКОЛИЋ и Ивана ВУКАНАЦ**

*Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд,
Србија, pantelic@vinca.rs, milosz@vinca.rs, icelikovic@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs, vukanac@vinca.rs*

САДРЖАЈ

Трогодишњи пројекат MetroRADON у оквиру програма EMPIR је фокусиран на следљивост мерења ниске концентрације радона и доприноси стварању координиране метролошке инфраструктуре за мониторинг радона у Европи као и хармонизацији методологија мерења. Циљеви пројекта су да се обезбеди метролошка следљивост калибрације инструмената на ниским концентрацијама са мерном несигурношћу мањом од 5%, да се испита утицај торона и његових потомака на мерење концентрације радона, да се упореде процедуре мерења концентрације радона и брзине ексхалације радона из земљишта у различитим државама у Европи, да се развију методе идентификације области са повећаном концентрацијом радона, да се све ове методе валидују и да се олакша коришћење технологије и мерне инфраструктуре коју је развио пројекат од стране крајњих корисника. У овом раду ће бити дат преглед циљева и досадасњих резултата пројекта.

1. Увод

Пројекат MetroRADON у оквиру програма EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research - Европски метролошки програм за иновације и истраживање) окупља седамнаест европских партнера из националних метролошких института и истраживачких института, укључујући Институт за нуклеарне науке "Винча". Пројекат је фокусиран на следљивост мерења ниске концентрације радона и допринеће стварању координисане метролошке инфраструктуре за мерење концентрације радона у Европи.

Специфични циљеви пројекта су:

- развити нове процедуре за следљиву калибрацију инструмената за мерење радона (^{222}Rn) у нижем опсегу концентрација радона (100 Bq/m^3 до 300 Bq/m^3) са мерном несигурношћу $\leq 5\%$ ($k=1$);
- испитати и смањити утицај торона (^{220}Rn) и његових потомака на мерење радона и калибрацију уређаја за мерење;
- упоредити постојеће процедуре за мерење концентрације радона у различитим земљама Европе, хармонизовати и оптимизовати мерења радона у затвореном простору и брзине ексхалације радона из земљишта;
- Анализирати и развити методологију за идентификацију области са повишеним концентрацијама радона (*radon priority areas*), развити концепт радонског

- хазард индекса (*Rn Hazard Index*) и испитати везу између брзине ексхалације радона из земљишта и концентрације радона у затвореном простору;
- Валидовати следљивост постојећих европских лабораторија за еталонирање и публиковати упутства и препоруке за калибрацију и мерење концентрације радона у ваздуху;
- Стварање технологије и координиране метролошке инфраструктуре до крајњих корисника (законодаваца, регулаторних тела и политичара), организација које развијају стандарде и оних који обезбеђују мерења (акредитоване лабораторије, произвођачи инструмената).

2. Следљиве калибрације мерила концентрације радона у ваздуху

На основу ЕУРАТОМ директиве, државе потписнице су у обавези да направе државни акциони план за радон. У оквиру овог акционог плана, посебну пажњу треба посветити одређеним аспектима спровођења националне кампање у животним и радним просторијама [1]. Свако мерење, па тако и мерења која се спроводе у оквиру националне кампање мерења радона, подразумева поуздану калибрацију инструмената. Да би се испунили захтеви нове ЕУРАТОМ директиве, потребно је обезбедити калибрације у нижем опсегу концентрација радона, од око 100 Bq/m^3 до 300 Bq/m^3 . Калибрација инструмената за мерење ниских активности радона захтева значајна побољшања лабораторијске инфраструктуре у Европи.

Следљивост калибрације инструмената, па самим тим и мерења активности радона до националних и међународних еталона се постиже употребом било референтне атмосфере (примарни еталон), било једног или више референтних инструмената (секундарни еталони). Следљивост је, дакле, један од првих услова у контроли и осигурању квалитета мерења који мора бити испуњен.

Лабораторије сараднице у пројекту MetroRADON су развиле нове радиоактивне референтне изворе радона који имају стабилну и познату брзину еманације [3]. Циљ прављења ових нових радиоактивних референтних извора је постизање референтних поља за мерење концентрације радона у ваздуху. Ови извори су мање комплексни, јефтинији и омогућиће лабораторијама да лакше успоставе систем за калибрацију својих инструмената.

Поред овога, конструисано је ново постројење за калибрацију које се налази у Румунији. Идеја за изградњу овог објекта је била да се осигура међународна и национална метролошка следљивост у мерењу ^{222}Rn у ваздуху [2].

3. Утицај торона и његових потомака на мерење радона и радонску калибрацију

Циљ овог радног пакета је да се испита и смањи утицај торона и његових продуката на мерење концентрације радона, као и на саму радонску калибрацију. У бројним студијама се испитивао утицај торона на концентрацију радона и утврђено је да тај утицај варира од 0,4% - 74% за траг детекторе док је код радонских детектора базираних на јонизационим коморама, тај утицај од 4% до 66% [4, 5]. Један од првих задатака у оквиру овог радног пакета је био да се изврши детаљан преглед постојеће литературе како би се добио преглед постојећих техника и карактеристике материјала (пермеабилност, дифузиони коефи-

цијент и сл), који би помогли да се оптимизује методологија у циљу смањења утицаја торона на радонска мерења [6].

Три референтне торонске атмосфере, са ниском, средњом и високом концентрацијом торона су успостављене у референтној комори за калибрацију уређаја. Због кратког периода полураспада торона и последично мале дифузионе дужине, пре саме калибрације инструмената испитивана је хомогеност концентрације торона унутар коморе [7].

Калибрисани инструменти су се потом користили и користе се за испитивање утицаја торона на мерење радона у радонским коморама чисто радонском или мешаном радонско/торонском атмосфером. Могуће је пратити одзив инструмената у широком температурском опсегу од $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Испитивања се врше на великом броју различитих активних и пасивних радонских детектора који се користе у Европи, како би се разумео и евентуално кориговао утицај торона на радонске детекторе. Преглед литературе је дао добру полазну тачку за експериментална испитивања дифузионих баријера за торон, интерференцију између радона и торона, пермеабилност радона као и транспортне особине радона на различитим температурама. Испитивања су у току, а њихови резултати би требало да обезбеде важну и неопходну информацију како ограничити утицај торона на радонско мерење [8].

4. Методологије мерења радона у Европи

Према европском стандарду EU-BSS [1] све земље чланице дужне су да сачине радонски акциони план, као и да информације о нивоима концентрације радона буду доступне становништву. У складу са тим, у многим земљама су отпочели национални програми мерења радона, као што је случај и код нас. Земље које нису чланице ЕУ управљају се према IAEA BSS и у складу са IAEA упутствима о извођењу програма мерења радона [9]. 2005. године објављен је први преглед кампања мерења радона у Европи [10]. Један од задатака пројекта MetroRADON било је и ажурирање овог извештаја. Преглед литературе, резултата кампања мерења концентрације радона у затвореном простору у 45 европских земаља, објављен је у виду JRC Technical Report (Joint Research Centre of the European Commission) [11].

Преглед литературе обухватио је како међународне часописе, тако и радове саопштене на међународним и националним конференцијама. Током прегледа радова вођено је рачуна о различитим аспектима кампања чији су резултати саопштени, почев од дизајна и циља саме кампање, стратегије и начина узорковања, репрезентативности, техника мерења, обраде резултата и њихове интерпретације, утицаја торона па до контроле квалитета. За сваку „испитивану“ државу најкарактеристичнији детаљи кампање мерења радона су унети у објављени JRC извештај [11].

Методологије мерења радона разликовале су се толико да је било немогуће идентификовати две потпуно исте. Ова разноликост умногоме отежава било каква поређења различитих кампања, а самим тим и представљање ових резултата на јединственој радонској мапи Европе чини веома захтевним подухватом. Резултати прегледа, дати у JRC извештају [11], требало би да послуже као смернице ка хармонизацији радонских кампања, као и до сада доступних резултата.

Једна од активности у MetroRADON пројекту била је и преглед литературе о мерењима геогеног радона (*geogenic radon*) у Европи. Преглед је обухватио

радове у међународним часописима, радове са конференција, као и неке од цитираних радова у њима. Резултати и закључци овог прегледа дати су у посебном извештају [12]. Кључне тачке у овом извештају односиле су се на концепте геогеног радонског потенцијала, повезаности различитих параметара коришћених за процену геогеног радонског потенцијала, просторну дистрибуцију радона у Европи, као и на коришћене методе и мерну инструментацију. Закључено је и да се методологија мерења геогеног радона разликује од мерења радона у затвореном простору.

Мапе геогеног радона могу да послуже за дефинисање/идентификацију области са повишеним концентрацијама радона – *radon priority area*.

Да би се прикупиле недостајуће информације након прегледа литературе, као и да би се стекао увид у то како држава планира имплементацију EU-BSS стандарда у националну легислативу, припремљена су два упитника. Један се односи на кампање мерења радона у затвореном простору, док је други у вези са мерењима геогеног радона. Упитници су упућени надлежним институцијама у ЕУ земљама, а резултати анкетирања ће бити поређени са подацима добијеним прегледом литературе у циљу идентификовања могућих разлика и неконзистентности.

5. Радонска приоритетна област

Европска комисија је донела закон EU-BSS који у члану 103 обавезује земље чланице, као и земље у процесу придруживања Европској унији да идентификују области у којима се очекује да концентрација радона у значајном броју објеката прелази национални референтни ниво. Оваква област се назива „радонска приоритетна област“ (*radon priority area – RPA*) [13]. С обзиром да идентификација неке области као RPA може имати бројне политичке и економске ефекте, као што су мандаторна мерења радона у радном простору, превентивне мере и сл., овако дефинисана RPA дозвољава различиту интерпретацију, различит концепт и методологију за њену идентификацију унутар држава чланица Европске Уније [14].

У циљу хармонизације постојећих методологија за идентификацију радонске приоритетне области, извршен је детаљни преглед литературе из које су извлачени, а потом и оцењивани различити концепти и дефиниције RPA. Како би се процениле постојеће технике мапирања, вршено је тест мапирање на основу података из две области: Кантабрије у Шпанији и шест општина у Аустрији. Сваки од учесника је користио своје методе мапирања и дефиниције RPA и на крају је процењена метода сваког од учесника, као и до које мере се методе коришћене у једној земљи за одређену сврху, могу применити на податке из друге земље [15].

Радонске приоритетне области се не процењују искључиво на основу измерене концентрације радона у затвореним просторијама, већ се неретко процењују и другим величинама као што је радон у земљи, геогени радонски потенцијал... Будући да по BSS једино постоји директна веза између референтне националне вредности и радона у затвореним просторијама, једна од активности овог радног пакета је утврђивање везе између радона у затвореним просторијама и геогеног радона. Извршена је детаљна анализа постојеће литературе како би се одредиле статистичке везе и корелације између радона у затвореним просторијама и помоћних варијабли за процену RPA. С обзиром на велики број параметара који утиче на концентрацију радона у затвореним просторијама, односно на процену

концентрације радона у некој области, могуће је извршити погрешну класификацију неке области у радонску приоритетну или не-приоритетну област. Извршен је детаљан опис параметара који могу да утичу на грешку класификације неке зоне [16]. Важан задатак унутар овог пакета је развој новог концепта: радонског хазард индекса “*Rn hazard index*” (RHI) који би требало да обезбеди универзални алат да се квантификује остљивост неке области на геогени радон и стога да се квантификује ниво „приоритетности“ одређене регије без обзира на расположиве податке и неконзистентност дефиниција RPA у различитим државама.

6. Валидација следљивости Европских радонских лабораторија за еталонирање

Следљивост је од кључне важности за обезбеђење квалитета сваког мерења. У оквиру пројекта MetroRADON је спроведена анкета са циљем идентификације постојећих европских лабораторија за еталонирање и постојећих примарних стандарда. Други циљ анкете је био да се утврде мерне могућности радонских лабораторија. У анкети су се нашла питања о националним стандардима, референтној атмосфери, радонским коморама, инструментима коришћеним за мерење концентрације радона, процедурама еталонирања и следљивости мерења. Одговори су између осталог искоришћени да се одреде лабораторије које испуњавају услове да би биле позване за учешће у MetroRADON интеркомпарацији, која служи да се валидира следљивост мерења и да се обезбеди поверење у резултате еталонирања европских лабораторија. Циљ који се поставља за мерење концентрације активности ^{222}Rn у ваздуху је мерење са мерном несигурношћу од 5% ($\kappa = 1$).

Интеркомпарација је започела у мају 2018. године и односи се на опсег концентрација радона од 300 Bq/m^3 to $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ [17]. Резултати интеркомпарације ће допринети хармонизацији метрологије за мерење радона и обезбедиће важне закључке о тренутном стању метролошке инфраструктуре и перформанса појединих лабораторија. Још један резултат ће бити документ који ће дати препоруке за калибрације и мерење концентрације радона у ваздуху, а чије је публикавање планирано за 2020. годину.

7. Утицајност пројекта

Преглед литературе везан за систематско мерење радона у европском земљама је показао да нису све земље, иако јесте велики број њих, мерењима покриле целокупну територију државе. Такође, методологије коришћене при планирању систематског мерења, избор локација и метод мерења су толико разноврсни да је понекад немогуће поредити резултате различитих држава и сакупљање свих података у мапу Европе. Да би резултати мерења радона били поуздани, потребно је да су Лабораторије способне да продукују резултате адекватног квалитета. Потреба за резултатима униформисаним на нивоу целе Европе, дакле, захтева примену програма контроле квалитета, хармонизацију критеријума, процедура узорковања, рачунања и пријављивања резултата, по угледу на међународне стандарде.

Стога је очигледна потреба да се направи уноформна методологија за националне програме мерења радона која би дала резултате погодне за прављење једне свеобухватне мапе радона у Европи.

Највећи допринос пројекта MetroRADON је управо постизање свих ових наведених циљева. То се постиже кроз стварање координиране метролошке структуре за мониторинг радона у Европи, дефинисање нових процедура, установа и еталона за следљиву калибрацију инструмената, боље разумевање утицаја торона и његових потомака на мерење радона и калибрацију инструмената, хармонизацију мерења радона у затвореним просторијама и мерења ексхалације радона из земљишта, увођење јединствене методологије за одређивање подручја са високом концентрацијом радона и дефинисање правила и упутстава за мониторинг радона.

8. Закључак

MetroRADON пројекат ће умногоме допринети успостављању координисане метролошке инфраструктуре у области мерења радона у Европи и због тога је веома значајан за Србију. Резултати који се очекују су следећи:

- нова процедура следљиве калибрације инструментације за мерење ниских концентрација радона (100 Bq/m^3 - 300 Bq/m^3) са релативном несигурношћу мањом од 5% ($\kappa=1$),
- нов референтни материјал са познатом брзином еманиције радона,
- боље познавање утицаја торона и његових потомака на мерење радона и калибрацију уређаја,
- хармонизација и оптимизација методологија мерења радона у затвореном простору и мерења ексхалације из земљишта у Европи,
- методологија идентификовања области са повишеним концентрацијама радона – *radon priority areas*, и утврђивање корелације између концентрације радона у затвореном простору и ексхалације радона из земљишта,
- побољшани стандарди и препоруке за мониторинг радона.

У циљу упознавања научне заједнице, регулаторних тела и других заинтересованих страна са радом на пројекту MetroRADON, актуелни резултати пројекта и статус започетих и планираних активности објављују се на сваких шест месеци и доступни су на интернет страници www.metroradon.eu.

9. Захвалница

Овај рад је финансијски подржан од старне European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), JRP-Contract 16ENV10 MetroRADON (www.euramet.org) и од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (пројекти P171018 и III43009).

10. Литература

- [1] European Council (EC). Council Directive 2013/59/Euratom laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Off. J. Eur. Union L13*; 57, 2014.
- [2] A. Luca, L. Şerbina, C. Varlam, M. Sahagia, D. Schitea, I. Făurescu, O. Sima, M.R. Ioan, A. Antohe, C. Teodorescu, V. Bătrîneanu, C. Ivan, L. Teodorescu.

- Designing and construction of a new radon calibration facility in Romania. *5th European Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA)*, 4-8 June 2018, The Hague, The Netherlands; 2018.
- [3] F. Mertes, S. Röttger, A. Röttger. Towards new primary emanation sources for Rn-222. *5th European Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA)*, 4-8 June 2018, The Hague, The Netherlands; 2018.
- [4] S. Tokonami, M. Yang, T. Sanada. Contribution from thoron on the response of passive radon detectors. *Health Phys.* 80(6), 2001, 612-615.
- [5] F. Bochicchio, M. Ampollini, L. Tommasino, A. Sorimachi, S. Tokonami, Sensitivity to thoron of an SSNTD-based passive radon measuring device: Experimental evaluation and implications for radon concentration measurements and risk assessment. *Radiat. Meas.* 44(9-10), 2009, 1024-1027
- [6] <http://metroradon.eu/wp-content/uploads/2018/07/Review-techniques-to-reduce-influence-of-thoron.pdf>.
- [7] K. Mitev et al., Methods for experimental study of homogeneity in ²²⁰Rn calibrations, (in preparation).
- [8] *MetroRadon*, Internal report.
- [9] International Atomic Energy Agency (IAEA). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards Interim edition*. General safety requirements, Part 3. Vienna: IAEA; 2011.
- [10] G. Dubois. An overview of radon surveys in Europe (Report EUR21892., EC, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg); 2005.
- [11] G. Pantelić, I. Čeliković, M. Živanović, I. Vukanac, J.K. Nikolić, G. Cinelli, V. Gruber. Literature review of Indoor radon surveys in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-97643-8 (online), doi:10.2760/977726 (online), JRC114370, 2018.
- [12] <http://metroradon.eu/wp-content/uploads/2018/07/Geogenic-radon-potential-short-overview.pdf>.
- [13] European Council (EC). Council Directive 2013/59/Euratom laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Off J Eur Union* 2014; L13:57.
- [14] P. Bossew. Radon Priority Areas – Definition, Estimation and Uncertainty, *Nucl. Techn. Radiat. Prot.* 33, 3; 2018. p. 286-292.
- [15] V. Gruber, S. Baumann, W. Ringer, C. Sainz, L. Quindós-Ponceta, G. Cinelli, J-L Gutiérrez Villanueva. A radon mapping exercise within the European MetroRadon project. *14th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping- GARRM*, Prague, September 2018.
- [16] I. Čeliković, G. Pantelić, M. Živanović, I. Vukanac, J. Krneta Nikolić. Neodredjenost klasifikacije radonskih zona. *Zbornik radova XXX Simpozijuma DZZSCG*, Divčibare, 2. - 4. 10. 2019.
- [17] http://metroradon.eu/wp-content/uploads/2018/07/Newsletter_July_2018.pdf.

METRORADON- PROJECT FOR RADON MEASUREMENT IMPROVEMENT IN EUROPE

**Gordana PANTELIĆ, Miloš ŽIVANOVIĆ, Igor ĆELIKOVIĆ,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ and Ivana VUKANAC**

*University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,
pantelic@vinca.rs, milosz@vinca.rs, icelikovic@vinca.rs, jnikolic @vinca.rs,
vukanac@vinca.rs*

ABSTRACT

MetroRADON, a three year project based in the EMPIR program, is focused on traceability of low activity radon measurement. It contributes to the creation of the coordinated metrological infrastructure for radon monitoring in Europe, as well as the harmonization of measurement strategy and methodology. The objectives of this project is to secure the metrological traceability of the instrument calibration for the measurement of low activity, with the measurement uncertainty that does not exceed 5%, to investigate the influence of thoron and its progenies on the radon concentration measurements, to compare procedures for measurement of indoor radon concentration and exhalation rate from the soil in different European countries, to develop methods for recognizing the radon priority areas and finally to validate these methods, but at the same time to enable the access of the final users to the measurement technology and infrastructure developed within this project. This paper presents the overview of these objectives and the results achieved in the present time.