



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.

PREGLED ISTRAŽIVANJA RADONA U PRETHODNIH 29 SIMPOZIJUMA DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA SRBIJE I CRNE GORE

Igor ČELIKOVIĆ¹, Vesna ARSIĆ², Sofija FORKAPIĆ³, Vladimir UDOVIČIĆ⁴ i Dragoslav NIKEZIĆ⁵

- 1) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija, icelikovic@vin.bg.ac.rs
- 2) Institut za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“, Beograd, Srbija, s.vesna.a@gmail.com
- 3) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija, sofija@df.uns.ac.rs
- 4) Univerzitet u Beogradu, Institut za fiziku u Beogradu, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Beograd, Srbija, udovicic@ipb.ac.rs
- 5) Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, Srbija, nikezic@kg.ac.rs

SADRŽAJ

Radon je prirodni radioaktivni gas, čije je prisustvo zbog svojih karakteristika nemoguće detektovati ljudskim čulima, već ga je neophodno meriti. Iako je otkriven na početku XX veka, kada su i izmerene visoke koncentracije radona u rudnicima srebra u Češkoj, tek je četiri decenije posle pretpostavljena veza između visoke koncentracije radona i kancera pluća, da bi se desetak godina kasnije ukazalo na radonove potomke kao moguće uzročnike kancera. Brojne epidemiološke studije su pokazale da radon sa svojim potomcima predstavlja drugi uzročnik kancera pluća posle pušenja. Važnost ispitivanja radona i njegovih potomaka je odmah uočena i u Srbiji, tako da je već na prvom skupu, tada Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, održanom 1963 godine, bilo nekoliko radova posvećenih merenju koncentracije radona u rudnicima i banjama čime se dominantno bavio Institut za medicinu rada, iz Beograda.

U ovoj publikaciji data je kvalitativna analiza „radonskih“ radova sa prethodnih 29 simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja. Diskutovana je aktuelnost problematike sa godinama, pregled tema koje su se širile s godinama, kao i pregled korišćenih mernih tehnika i njihov razvoj. Konačno, data je procena daljeg razvoja problematike radona.

1. Uvod

Radon je plemeniti gas čiji su svi izotopi radioaktivni. Radon je bez boje ukusa i mirisa, pa je njegovo prisustvo u nekoj sredini nemoguće registrovati čulima, već ga je potrebno meriti. Od 27 do sada identifikovanih izotopa radona, samo 3 su prirodnog porekla: ^{222}Rn , ^{220}Rn i ^{219}Rn koji su redom članovi u ^{238}U , ^{232}Th i ^{235}U nizu radioaktivnog raspada. Relativna važnost ovih izotopa raste sa povećanjem njihovog perioda poluraspada i njihove abundance. Pa se tako ^{219}Rn (kolokvijalno: aktinon) sa periodom poluraspada od 3,98 s, u odnosu na ^{222}Rn (kolokvijalno: radon) sa periodom

poluraspada od 3,82 dana redovno zanemaruje. S druge strane, ^{220}Rn (kolokvijalno: toron) sa periodom poluraspada od 55,8 s koji je znatno kraći od perioda poluraspada radona, se ne može uvek zanemariti, budući da ima regiona u kojima je koncentracija ^{232}Th znatno veća od koncentracije ^{238}U , pa se koncentracije torona ne mogu zanemariti. Više od 50% od ukupne godišnje efektivne doze usled izlaganju jonizujućem zračenju potiče od izlaganju radona i njegovim potomcima [1]. Na osnovu nedavnih epidemioloških studija je utvrđeno da je radon sa svojim potomcima drugi uzročnik kancera pluća, posle pušenja i da je odgovoran za između 3% - 14% svih kancera pluća [2]. Stoga je jasan značaj koji izučavanje radona ima u oblasti zaštite od zračenja, pa time ne iznenađuje činjenica da je problematika radona bila prisutna na svim simpozijumima Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, koji je potom promenio ime u Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore.

U ovom radu je dat pregled istraživanja radona u prethodnih 29 Simpozijuma društva za zaštitu od zračenja (U daljem tekstu samo: Simpozijum). Nisu navođeni radovi, saradnika Društva koji su objavljivani u drugim zbornicima ili časopisima. S obzirom na pregledni karakter ovog rada, u sledećem poglavlju je dat istorijski pregled istraživanja radona u svetu, a potom slede poglavlja razvrstana po najznačajnijim temama vezana za ispitivanje radona i istorijskom pojavljivanju.

Istraživanje radona prikazano u zbornicima Simpozijuma se mogu podeliti u dve etape. U prvoj dominira ispitivanje radonu profesionalno izloženih lica, prvenstveno u uranskim i metalničnim rudnicima, dok je u drugoj etapi dominantno istraživanje izlaganja stanovništva u stambenim objektima kao i razvoj brojnih metoda merenja radona u vodi, vazduhu i zemlji, i modelovanje njegovog ponašanja. Prvo sledeće poglavlje je stoga radon u rudnicima, pa sledi izlaganje radona na ostalim radnim mestima. Potom sledi poglavlje: izlaganje stanovništva radonu i konačno metode merenja i simulacije radona i potomaka u životnoj sredini.

2. Istorijski pregled istraživanja radona

Problem radona datira još od XVI veka kad su Paracelsus i Agricola, pisali o velikoj stopi smrtnosti usled plućnih bolesti kod rudara u rudnicima srebra u Češkoj i Saksoniji [3]. Bolest je krajem XIX veka identifikovana kao kancer pluća, ali se i dalje nije znao njen uzrok. Godinu dana nakon što je Dorn 1900 godine otkrio radon, Elster i Geitel su detektovali visoku koncentraciju radona u rudnicima u Češkoj, mada i dalje radon nije dovođen u vezu sa kancerom pluća [4]. Tek je četiri decenije kasnije, Rajewski pretpostavio da postoji veza između visoke koncentracije radona i kancera pluća [5]. Konačno, 1951 godine, pola veka posle otkrića radona, Bale je ispravno pretpostavio da su radonovi kratkoživeći potomci glavni uzrok kancera pluća [6]. Usledila su brojne kohort studije sprovedene na rudarima u rudnicima urana u Americi i Čehoslovačkoj, na osnovu kojih je Međunarodna agencija za ispitivanje kancera 1988 godine identifikovala radon kao ljudski kancerogen.

S druge strane, ispitivanje radona u zatvorenim prostorijama je prvi put sprovedeno u Švedskoj, gde je od 225 ispitivanih kuća pronađena nekolicina sa veoma visokom koncentracijom [7]. U to vreme, radon u kućama još uvek nije bio shvaćen kao globalni problem, nego su tek posle dvadesetak godina započeta sistematska istraživanja radona u zatvorenim objektima kao i prvi nacionalni programi merenja radona [8]. Na osnovu objedinjenih epidemioloških studija, Svetska zdravstvena organizacija je identifikovala

radon kao drugi uzročnik kancera pluća, posle pušenja, pa ne čudi povećanje interesovanja za ispitivanje radona [2].

3. Radon u rudnicima

Kako u svetu, tako i u tadašnjoj Jugoslaviji, problem radona je na početku istraživanja bio vezan samo za rudnike, dok u stambenim objektima nije bio razmatran. Posle drugog svetskog rata, javila se ekspanzija izučavanja nuklearne energije i proizvodnje nuklearnih sirovina što je dovelo do povećanog broja radnika koji su bili izloženi visokim koncentracijama radona u procesima eksploatacije i obrade rude, i procesu proizvodnje nuklearne sirovine.

Različiti aspekti ispitivanja izloženosti rudara radonu i/ili njegovim potomcima su bili dominantno prisutni počev od I do XV Simpozijuma. Tek par tema (radova) nisu imali vezu sa izlaganjem radona u rudnicima. Saradnici Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu „Dr Dragomir Karajović“, Beograd (tj. Instituta za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“ – IMRS) predvođeni dr Danilom Hajdukovićem su se prvi bavili problematikom radona uopšte, i u prvih pet Simpozijuma jedini su saopštavali bilo kakve rezultate vezane za ispitivanje radona. Od petog Simpozijuma, grupa iz Instituta „Jožef Stefan“ iz Ljubljane predvođena dr Ivanom Kobalom se priključuje istraživanju radona, sa prvim radovima vezanim za izlaganje radonu u rudnicima. Od ukupno 61 rada sa problematikom radona saopštenih na prvih 15 Simpozijuma, čak 39 radova se na neki način tiče ispitivanja radona u rudnicima, od čega su 32 rada potpisali saradnici sa IMRS, a 7 saradnici sa Instituta IJS.

Kontrolna merenja koncentracije radona su vršena kako u uranskim rudnicima (Kalna, Žirovski Vrh i Zletoska Reka) tako i brojnim neuranskim metaličnim rudnicima olova, cinka, bakra, mangana i antimona.

Prva merenja su pokazala vrlo visoke koncentracije radona u rudnicima urana sa opsegom od par desetaka kBq/m³ do nekoliko stotina kBq/m³, što je bila posledica loših uslova rada i slabe ventilacije [9]. IJS je ispitivao uticaj ventilacije na nivo koncentracije radona u različitim tunelima i pokazano je da odgovarajuća ventilacija može da održava nivo radona u tunelu u dozvoljenim granicama [10]. Sa uvođenjem mehaničke ventilacije, pokazano je da su se koncentracije radona smanjile [11]. U istom radu je ispitivano i smanjenje koncentracije radonovih potomaka i faktora ravnoteže u zavisnosti od brzine ventilacije. Takođe, vršilo se i ispitivanje koncentracije radona za svaki od proizvodnih procesa, kao što su: miniranje, bušenje, utovar i transport rude.

U neuranskim rudnicima metaličnih ruda, koncentracije radona su, po pravilu, bile niže i kretale se od sedamdesetak Bq/m³ do par hiljada Bq/m³, mada je u jednom hodniku rudnika Sase, M. Kamenica, koncentracija radona dostigla 354 kBq/m³. Zaključeno je da na ovako visoke koncentracije radona utiču sadržaj ²²⁶Ra u stenama i veoma slaba ventilacija [12].

Pored merenja koncentracije radona, od 1969, tj. od IV Simpozijuma se prezentuju i rezultati merenja kratkoživećih potomaka radona. Zanimljivo je da je do tada ispitivanje izloženosti radonu preko potomaka bilo isključivo razmatrano kroz merenje dugoživećeg ²¹⁰Po. Određivana je koncentracija ²¹⁰Po u urinu, krvi i kosi rudara, a potom i kod zečeva u cilju procene izloženosti radonu [13,14].

Sa razvojem tehnike merenja radona u vodi, kolege iz IJS su ispitivali koncentraciju radona u vodama u okolini rudnika urana Žirovski vrh. Povećane koncentracije su nađene u vodama u blizini Žirovskog vrha u koje su ve ulivale vode iz rudnika, dok su

vode izvan regiona rudnika sadržale veoma niske koncentracije radona [15].

U cilju što efikasnije optimizacije zaštite rudara vršeno je simultano ispitivanje izloženosti brojnim štetnim agensima: koncentraciji radona, radonovih potomaka, CO, CO₂, broju i tipu čestica prašine u zavisnosti od različitih uslova ventilacije [16]. Vrlo efikasnom zaštitom se pokazalo korišćenje posebno dizajniranih rudarskih šlemova sa ugrađenim ventilatorom i sistemom za ventilaciju. Faktor smanjenja koncentracije radonovih potomaka od spoljne sredine do vazduha pod šlemom koji se udiše je bio od par desetina do par stotina puta [17].

Zbog značaja koji radon ima na razvoj respiratornih bolesti, saradnici instituta IMRS su već od prvog Simpozijuma prezentovali svoja istraživanja na temu zdravstvenog uticaja radona: praćeno je medicinsko stanje ruda urana u Kalni, sa posebnim naglaskom na respiratorne bolesti, ispitivan je uticaj dugoročne inhalacije radonu i potomcima i kvarcne prašine na respiratorni sistem pacova, ispitivan je uticaj prašine i radioaktivnosti na povećanje aktivnosti pluća pri udisanju radona kako kod pacova, tako i ljudi, hromozomske aberacije usled izlaganja radonu i potomcima i drugo. Detalji ovih istraživanja se mogu naći u preglednom radu dr Hajdukovića i brojnim radovima prikazanim u prvih 15 Simpozijuma [12].

Konačno, sa stopiranjem nuklearnog programa u Srbiji i raspadom Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije, u zbornicima Društva se više ne objavljuju radovi vezani za ispitivanje radona u rudnicima urana ili neuranskim metaličnim rudnicima.

4. Izlaganje radonu na ostalim radnim mestima

Ispitivanje profesionalnog izlaganja radonu, je bilo aktuelno od prvog Simpozijuma. Pored merenja izlaganja radona u rudnicima koji je opisan u prethodnom poglavlju, vršeno je i ispitivanje radona u banjama [18]. Radon je kontrolisan u inhalatorijumima banja: u Rimskim Toplicama, Banji Vrućici i Topuskom koncentracije nisu prelazile 1300 Bq/m³, nešto više koncentracije su izmerene u Soko Banji do 1800 Bq/m³, dok je u Niškoj Banji maksimalna koncentracija izmerena u inhalatorijumu bila oko 1 MBq/m³. Procedura je vremenom unapređena uvođenjem individualnih inhalatora [12].

Radon je meren i u radnim organizacijama koje su primenjivale ²²⁶Ra u terapijske svrhe, merenjem u prostorijama za aplikacije i bunkerima u kojima su se čuvale radijumske igle [12]. U sklopu lekaskih pregleda radnika koji su radili na radioaktivnim bojama koji dominantno potiču od radijuma, spomenuto je izlaganje radonu kao jedan od potencijalnih problema nastalih pri inhalaciji radioaktivne prašine. Kontaminacija radijumom se određivala merenjem koncentracije izdahnutog radona.

Koncentracija radona i njegovih potomaka je merena i u nekim specifičnim radnim prostorijama gde se mogla očekivati povišena koncentracija, kao što su: kaptaža izvora za gradski vodovod, bolnička perionica, kuhinja studentskog doma i sl. Izmereno je da jedino u slučaju kaptaže izvora koncentracija radona prevazilazi preporučenu vrednost [19].

Na osnovu izloženog u prethodna dva poglavlja, može se uočiti da je tema procene štetnosti profesionalnom izlaganju radona vrlo kompleksna, značajna i datira do danas. Iako u regulativi u Srbiji postoje granice za profesionalno izlaganje (član 35, Pravilnika o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima [20]) nije precizirano na koja radna mesta se to odnosi i na koji način se predviđa kontrola tih radnih mesta. Pravilnik će biti potrebno uskladiti, u što skorije vreme, sa direktivom Evropskog saveta

2013/59/EUROATOM vezanom za zaštitu od zračenja u okviru koje se član 45 odnosi na regulisanje radona na radnim mestima [21].

5. Izlaganje stanovništva radonu

Prva merenja radona su vršena 1964. godine u okolini rudnika urana Kalna u kućama u kojima žive rudari. Izmerene su koncentracije do 750 Bq/m^3 , međutim kako u to vreme nije bila regulisana maksimalna preporučena koncentracija radona u kućama, a maksimalna dozvoljena koncentracija u rudnicima je iznosila $11,1 \text{ kBq/m}^3$, dok su se sami rudari izlagali i znatno višim koncentracijama, ovom rezultatu nije pridodavan značaj [12]. Tek dve decenije kasnije se nastavlja merenje radona u zatvorenim prostorijama. U 14. zborniku Simpozijuma iz 1987. godine pojavljuju se 2 rada iz ove tematike. Kolege sa Pedagoškog fakulteta u Osijeku su korišćenjem LR-115 detektora ispitivali sezonsku varijaciju koncentracije radona u podrumu i na balkonu, dok su kolege iz IJS dizajnirali CR-39 detektor, a potom merili radon u rudniku urana, spoljašnjem vazduhu i odabranim kućama. Ovo ujedno predstavlja prvo pominjanje pasivnih, nuklearnih trag detektora. U sledeća dva Simpozijuma, problematikom izlaganja radona u zatvorenim prostorijama dominantno su se bavile kolege iz Slovenije i Hrvatske. Ispitivana je i koncentracija radona u kućama koje su građene od pepela skinutog sa elektrofiltra iz termoelektrane. Pored ispitivanja radona u kućama, od 1991 počinje da se prati koncentracija radona u vrtićima. Prve rezultate objavio je IJS na čelu sa dr Kobalom i saradnicima koji su razvili alfascintilacioni metod [22,23].

Sa prestankom objavljivanja radova koji razmatraju izlaganje radonu u rudnicima, intenzivira se izučavanje radona u zatvorenim prostorijama. Tako se od 1993. godine, u Zbornicima Simpozijuma pojavljuju radovi sa sve većim brojem institucija koje su u svoju problematiku istraživanja ubacili i ispitivanje uticaja radona na stanovništvo. Iste godine, pojavljuju se prve preporuke Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP – International Commission on Radiological Protection) koje se tiču zaštite od radona u kućama i radnim mestima, a kao posledica istraživanja u okviru brojnih nacionalnih programa ispitivanja radona pokrenutih osamdesetih godina [24].

Sa pojavom pasivnih nuklearnih trag detektora i ugljenih kanistara, intenzivira se i merenje koncentracije radona u kućama [25, 26], a takođe i školama i vrtićima [27].

Desetak godina od kad se krenulo sa ispitivanjem radona u zatvorenim prostorijama, na XXI Simpozijumu, dr Žunić sa koautorima objavljuje prvi rad koji govori o naučnim osnovama za sprovođenje nacionalnog programa za radon [28]. Već na sledećem, XXII Simpozijumu se pojavljuje rad u kojem je data prva radonska mapa Vojvodine, sprovedene u svih 45 opština Vojvodine, korišćenjem CR-39 detektora [29]. Merenje koncentracije radona u školama, predškolskim ustanovama i stambenim objektima je nastavljeno i u narednih 5 Simpozijuma, u okviru kojih se objavljuju radovi sa Kosova i Metohije, Crne Gore, Slovenije, i po prvi put rezultati merenja radona u školama u Bosni i Hercegovini (o čemu svedoče brojni radovi saopšteni u Simpozijumima, počev od XXII).

Sa postavljanjem Laboratorije za elektrohemijско razvijanje u Vinči, objavljuje se rad u kojem je prvi put prikazano sistematsko merenje radona u ruralnim sredinama [30]. Radon je potom meren drugim detektorima i na Kosovu i Metohiji [31].

Na XXVII Simpozijumu, dr Udovičić priča o regulativi i strategiji nacionalnog programa za radon. U radu su dati okviri za održavanje jasnog i održivog radonskog nacionalnog plana [32]. Na sledećem, XXVIII Simpozijumu, prikazan je dizajn prve

nacionalne prospekcije radona u boravišnim prostorijama koju je sačinila radna grupa za radon [33]. Prateći predloženi dizajn, podeljeno je 6000 CR-39 detektora. Kampanja je uspešno realizovana, ali rezultati još nisu saopšteni na Simpozijumu. I pored uspešno realizovane kampanje, ostalo je još puno posla kako bi se izvršila implementacija radonskog akcionog plana i izvršilo usaglašavanje sa direktivama EU, što je donekle olakšano postojanjem aneksa XVIII koji kroz 14 elemenata predstavlja svojevrsni vodič za pripremu akcionog plana [21].

Prvu sanaciju objekta od visoke koncentracije radona je sproveo dr Jovanović u Sloveniji u kući u kojoj je maksimalna izmerena koncentracija radona iznosila 3000 Bq/m³. Sanacija je izvršena stavljanjem izolacije na pod podruma, čime je postignuta 25% niža koncentracija, a rezultat je prezentovan na Simpozijumu 1991. godine [34]. Iako sama sanacija nije postigla cilj i oborila koncentracije radona ispod preporučenih granica, rad je značajan kao prvi. Dva Simpozijuma posle, Departman za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, prezentuje rad u kojem daje detaljan pregled građevinskih tehnika koje dovode do smanjenja koncentracije radona u zatvorenim prostorijama [35]. Na XXII Simpozijumu je prikazana prva uspešna redukcija nivoa radona u jednoj školi u Crnoj Gori. Tim istraživača predvođeni akademikom P. Vukotićem je uspešno identifikovala puteve ulaska radona u učionice korišćenjem aktivnog metoda detekcije radona, ponudila tehničko rešenje, koje je potom Građevinski fakultet iz Podgorice realizovao i smanjio nivo radona do 10 puta [36]. Kolege iz IMRS su takođe u jednom radu prezentovanom na XXVII Simpozijumu dali niz opštih postupaka kako smanjiti nivo radona u školskim i predškolskim ustanovama. I pored svega navedenog, u Srbiji do danas nije izvršena ni jedna sanacija objekta od visoke koncentracije radona, mada je skorije rađena pilot studija sa predlozima mere sanacije.

6. Metode merenja i simulacije radona i potomaka u životnoj sredini

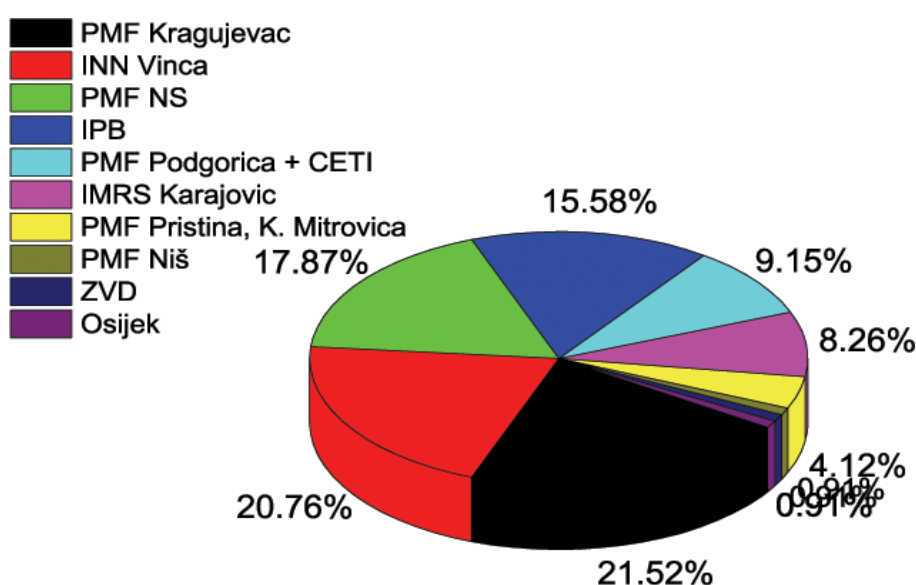
Prva etapa merenja radona se odnosi na ispitivanje profesionalnog izlaganja radona, prvenstveno rudara u uranskim i metalničnim rudnicima. S obzirom da su u pitanju merenja koja su sa početka istraživanja radona kao i da su se samo 2 institucije dominantno bavile ovom problematikom, to je i broj mernih tehnika bio manje raznovrstan nego u drugoj etapi kada je ispitivanje radona došlo u „zrelu fazu“ i kada se sve veći broj istraživača uključuje u ovu problematiku.

Tokom cele prve etape, IMRS je merenje radona vršio scintilacionom metodom korišćenjem staklenog balona zapremine 125 ml, koji je sa unutrašnje strane premazan sa ZnS(Ag). Od IV Simpozijuma IMRS uvodi dve metode merenja radonovih potomaka korišćenjem membranskih filtera. Alfa aktivnost na filtru se merila jonizacionom komorom i po jednoj metodi se određivala ukupna koncentracija radonovih potomaka, dok je po drugoj metodi bilo moguće meriti aktivnost stakog radonovog kratkoživećeg potomka ponaosob. IMRS je razvio i metod merenja niske koncentracije radona optimizovane da meri koncentraciju izdahnutog radona. Hajduković daje pregled postojećih metoda merenja radonovih potomaka kao i predlog optimalne tehnike za primenu u našim uslovima.

Institut IJS je radon takođe merio scintilacionom metodom, ali sa ćelijama zapremine oko 160 ml. Pored toga, uveli su 2 metode merenja niskih koncentracija radona u vodi bazirane na scintilacionim ćelijama pri čemu se kod jedne radon izdvaja prodivavanjem vode inertnim gasom, a kod druge kondenzacijom tekućim azotom. Uvedena je i

metoda merenje radonovih potomaka koristeći scintilacione pločice, uz pretpostavku ravnoteže između radona i potomaka. Na XI Simpozijumu, grupa iz IJS prva publikuje rad o razvoju uređaja za kontinualno merenje radona bazirano na jonizacionoj komori velike osjetljivosti.

Drugu etapu karakteriše ispitivanje izloženosti stanovništva radonu kao i brojnih pratećih faktora koji bi mogli doprineti boljem razumevanju njegovog ponašanja u životnoj sredini. Razvijaju se brojni detektori, razvijaju se različite tehnike merenja radona u vodi i zemnom gasu, usložnjava se analiza rezultata i sl. Na grafiku 1 je prikazan broj radova iz oblasti radona po instituciji u periodu od 1993 do 2017. Dominiraju radovi koji potiču sa Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu- 21,52%, iz Instituta za nuklearne nauke „Vinča“- 20,76%, Departmana za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu – 17,87% i Instituta za fiziku, Univerziteta u Beogradu (IPB) – 15,58%.



Slika 1. Pregled broja radova sa radonskom tematikom po institucijama u periodu od 1993 do 2017.

Od XIII Simpozijuma, pojavljuju se merenja bazirana na čvrstim nuklearnim trag detektorima. Prva takva merenja je objavio kolega sa Učiteljskog fakulteta u Osijeku, korišćenjem LR-115 stavljenim u otvorenoj i zatvorenoj sa filtrom plastičnoj čaši [37]. Na narednom simpozijumu saradnici IJS prikazuju rad na razvoju pasivnih detektora baziranih na CR-39 filmovima. Na XVI Simpozijumu, su saradnici takođe iz IJS-a, po prvi put prikazali merenja radona u zatvorenim objektima korišćenjem ugljenih kanistra, kao i alfa spektrometri koji su korišćeni za kontinualno merenje radonovih potomaka [38].

Period od XVI Simpozijuma do XXIX simpozijuma donosi razvoj različitih pasivnih metoda za merenje radona: detektori sa kombinacijom aktivnog uglja i polikarbonata, detektori sa različitim tipovima trag detektora: LR-115, CN-92, CR-39.

Od XVII Simpozijuma, grupa prof. Nikezića sa PMF u Kragujevcu u najvećoj meri doprinosi različitim aspektima istraživanja radona. Rađeno je na razvoju difuzione komore koja pored LR-115 ima i elektret u cilju povećanja efikasnosti detekcije radona, što su komparativna merenja i potvrdila [39]. Značajan pravac istraživanja predstavljaju razna modelovanja. Vršeno je dozimetrijsko modelovanje efekata inhalacije radona i njegovih potomaka u plućima. Razvijen je model za računarsko određivanje kalibracionog koeficijenta za merenje radona pomoću CR-39 detektora, što je ujedno i prva primena Monte Karlo metoda u problematici radona [40]. Jedan od problema u nauci o radonu je dugoročno merenje radonovih potomaka, pa je razvijana tehnika merenja radonovih potomaka i faktora ravnoteže trag detektorima, merenje ^{210}Po na staklu... Vršena je i simulacija veličine i raspodele tragova na CR-39 detektoru ozračenog radonom za različite faktore ravnoteže. Utvrđeno je da se mogu identifikovati tragovi koji potiču od ^{214}Po čime se dalje primenom Jacobi-Porstendorferovog modela mogu odrediti koncentracije ostalih potomaka [41].

Merenje radona ugljenim kanistrima po standardnoj EPA metodi predstavlja jedini pasivni metod po kojem su čak tri Laboratorije u Srbiji akreditovane, a čije je međulaboratorijsko poređenje pokazalo dobro slaganje dobijenih rezultata [42].

U Srbiju je merenje radona ugljenim kanistrima uveo IMRS 1991 godine, a 1997. godine objavljuje rezultate koncentracija radona merenih u 555 slučajno izabranih stanova u gradovima širom Srbije [26]. Dve godine kasnije i Departman za fiziku, PMF Novi Sad, objavljuje koncentracije radona u vrtićima i školama dobijenih ugljenim kanistrima [27]. Pored samih merenja, vršena su teoretska i eksperimentalna razmatranja parametara koji utiču na sam metod, Vršena je simulacija adsorpcije na aktivnom uglju metodom konačnih elemenata u zavisnosti od temperature i varijacije koncentracije radona. Dobro slaganje sa eksperimentalnim rezultatima ukazuje da bi se ovakvim pristupom mogla olakšati ekstenzivna procedura kalibracije i predvideti odzivi pri varijaciji različitih parametara [43]. Metodom konačnih elemenata je vršena i simulacija skim-off metode u cilju smanjenja efekata ekstremnih varijacija u koncentraciji radona merenoj aktivnim ugljem [44]. Takođe je ispitivan i uticaj kalibracionog faktora na rezultat koncentracije radona kao i opravdanost korišćenja EPA krivih za korekciju na relativnu vlažnost za ugljene kanistre [45,46].

Vremenom su se aktivni uređaji na svetskom tržištu znatno unapredili, postali su veće osetljivosti, sa više opcija i finansijski dostupniji, pa su ih radonski eksperti Društva uveli u upotrebu u svojim laboratorijama. To je dovelo do uvođenja novih i/ili ekspanzije postojećih metoda merenja koje je prethodno bilo teže izvoditi.

Razvijaju se modeli merenja brzine ekshalacije iz građevinskog materijala [47,48], kao i merenje koeficijenata difuzije [49]. Razvijen je i gama spektrometrijski metod kojim se omogućava istovremeno određivanje brzine ekshalacije, difuzione dužine i koeficijenta emanacije [48].

Uspostavljaju se metode merenja radona u vodi i ujedno se ispituje koncentracija radona u pijaćoj vodi, fontanama i izvorskoj vodi. Uvedene su 4 metode merenja radona u vodi, dve bazirane na tačnom scintilacionom brojaču, jedna na alfa spektrometru, dok je četvrta metoda gama-spektrometrijska [50].

Merene su i koncentracije radona i torona u zemljištu. Međutim, kako koncentracija radona u zemnom gasu varira od sadržaja vlage u zemljištu, u svetu je uvedena veličina geogeni radon potencijal (GRP) koji pored koncentracije radona u zemljištu uzima u obzir i permeabilnost zemljišta. Prvi rad na ovu temu u Zborniku je vezan za mapiranje GRP na osnovu 400 merenja širom Hrvatske [51]. Saradnici iz Novog Sada i IPB su na

osnovu rezultata koncentracije radona u zatvorenim prostorijama i brojnih raspoloživih geohemijskih podataka o zemljištu pokušali korišćenjem multivarijantne analize proceniti GRP. Izdvojene su dve metode bazirane na veštačkoj neuralnoj mreži, a dobijeni rezultati daju uvid u zavisnost i značaj svakog parametra u predviđanju koncentracije radona [52].

U niskofonskoj podzemnoj laboratoriji, sa uvođenjem kontinualnog merenja radona, brojni radovi se posvećuju ispitivanju varijacije koncentracije radona, korelacijom sa fonom gama zračenja kao i meteorološkim parametrima, kao i analizom vremenskih serija koncentracije primenom različitih metoda [53,54]. Ispitana je i mogućnost da se kontinualno merenje radona, koje je vršeno u Niskofonskoj laboratoriji, iskoristi za predviđanje zemljotresa. Uočena je nagla promena koncentracije radona pre zemljotresa, tako da postoji osnov za dalja istraživanja na tu temu. U gama spektrometriji, radon se javlja kao problem jer povećava fon. O toj problematici je već pisano na II Simpozijumu gde se spominju radon i toron kao gasovi čiju je koncentraciju potrebno smanjiti u sobi gde se nalazi uređaj za merenje radioaktivnosti celog tela. Posebna pažnja smanjenju koncentracije radona zbog kvaliteta gamaspektrometrijskih rezultata je obraćana pri konstrukciji Niskofonske podzemne laboratorije u Institutu za fiziku, Beograd. Zidovi niskoaktivnog betona su hermetički zatvarani aluminijumskim limom debljine 1mm, uveden je nadpritisak od 1,5-2 mbara, instalirana je ventilacija sa dvostepenim sistemom dva filtra: te se postiglo smanjenje koncentracije radona od 1200 Bq / m³ do 10,4 Bq / m³ [55].

I sam pristup obradi rezultata merenja se menjao od prvog do poslednjeg Simpozijuma. U prvim radovima, praktično nije bilo analize već su samo prikazivani rezultati merenja. Događalo se čak da su rezultati prikazivani bez standardne devijacije. Vremenom analiza rezultata se usložila, pa je minimum statističke analize uključivala deskriptivnu statistiku. Budući da raspodela koncentracije radona na određenom prostoru prati log-normalnu raspodelu, jedan od standardnih testiranja je i test na log-normalnu raspodelu. Postavljanje radonskih detektora u zatvorenim prostorijama je često praćeno popunjavanjem upitnika o samom objektu, geološkoj podlozi samog objekta i slično. Stepem korelacije između izmerene koncentracije radona i brojnih parametara se određivao multi-regresionom analizom. Konačno, kolege iz IPB su koristeći svoje iskustvo iz analize podataka u fizici visokih energija, uvele multivarijantni metod klasifikacije. Stepem složenosti analize rezultata koja je prikazivana na poslednjim Simpozijumima može da parira postojećim modelima i analizama koji se koristi u svetu.

7. Zaključak

O važnosti ispitivanja radona i njegovih potomaka zbog njihovog uticaja na razvoj kancera pluća se znalo 50-tih godina, pa ne iznenađuje da se već od prvog Simpozijuma održanog 1963 pojavljuju radovi posvećeni merenju radona. Istraživanje radona unutar Društva se može podeliti na dve etape. U prvoj etapi ispitivano je profesionalno izlaganje radonu, prvenstveno u rudnicima urana, čime su se dominantno bavile 2 institucije: IMRS i IJS. Sa pokretanjem nacionalnih radonskih programa u svetu i donošenjem ICRP preporuka o nivoima koncentracije radona u kućama, kao i odumiranja nuklearnog programa kod nas, počinje druga etapa u kojoj se sve više institucija bavi istraživanjem radona, prvenstveno izlaganjem stanovništva. Najvažniji pravci istraživanja u drugoj etapi su merenje radona u kućama i školskim i predškolskim ustanovama, razvoj metoda merenja radona u vazduhu, vodi i zemljištu, modelovanje

doza koje stanovništvo primi usled izlaganja radonu... Analize rezultata merenja su prešle „dalek put“ od vrlo trivijalnih, dajući samo izmerene vrednosti, preko deskriptivne statistike, do primene veoma naprednih alata za analizu u čemu pratimo korak sa svetom.

Jedna od stvari koja ostaje za neposrednu budućnost je usklađivanje zakona o jonizujućem zračenju sa evropskim, implementacija radonskog akcionog plana kao i sprovođenje mera za sanaciju objekata od visoke koncentracije radona. Sa identifikacijom radonski prioriternih oblasti očekuje se intenziviranje merenja radona na radnim mestima...

8. Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, kroz projekte: OI 171018, OI 171021 i III 171002.

9. Literatura

- [1] UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report), Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly. United Nations, New York. 2008.
- [2] World Health Organisation, WHO Handbook on Indoor Radon. WHO, Geneva, (2009).
- [3] Paracelsus, 1567. Von der Bergsucht und anderen Bergkrankheiten; s., Schriften aus dem Gesamtgebiet der Gewerbehygiene, Neue Folge. J Springer, Berlin 1925.
- [4] J. Elster, H. Geitel. Über eine fernere Analogie in dem elektrischen Verhalten der natürlichen und der durch Becquerelstrahlen abnorm leiteten gemachten Luft. *Phys. Z.* 2, 1901, 590–593.
- [5] B. Rajewsky, Bericht über die Schneeberger Untersuchungen. *Z. Krebsforsch* 49, 1940, 315–340.
- [6] W.F. Bale, W.F., 1951. Hazards Associated with Radon and Thoron. Unpubl. Memo. to U.S. At. Energy Comm. (reprinted *Heal. Phys.* 38, 1061).
- [7] B. Hultqvist, B., Studies on naturally occurring ionising radiation, with special reference to radiation doses in Swedish houses of various types. *K. Sven. Vetenskap. Handl.* 4, 1956, 6.
- [8] UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report), Annex B: Exposure due to Natural Radiation Sources. Vol. 1, United Nation, New York, 2000.
- [9] M. Međedović, D. Panov, M. Vukotić, P. Raičević, D. Hajduković, Kontaminacija Ra226 i potomcima u rudniku urana. *Zbornik radova II jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti*, Mostar 1-4 novembra 1965, 275-284.
- [10] J. Kristan, I. Kobal, M. Ančik, T. Sedovšek, Kontrola kontaminacije ^{222}Rn i njegovih kratkoživećih potomaka u rudniku urana u Žirovskom Vrhu, *Zbornik radova VI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Ohrid 25-28. April, 1972, 253-260.

- [11] D. Hajduković, M. Vukotić, I. Prijatelj, Kontrola merenja radona i potomaka u rudniku urana Žirovski vrh, D. Hajduković, *Zbornik radova XIII simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja* (1961 – 1984), Pula, 10.-13. 06, 1985, 533-536
- [12] D. Hajduković Trideset godina merenja radona-222 u radnoj i životnoj sredini (1960 – 1990), *Zbornik radova XVI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Neum, 28-31. Maj 1991, 39-44.
- [13] D. Đurić, D. Panov, M. Kilibarda, Lj. Novak, M. Vukotić, Polonijum u urinu rudara kao merilo ekspozicije radonu, *Zbornik radova I jugoslovenskog simpozijum o radiološkoj zaštiti*, Portorož, 8-12 oktobra, 1963, 11-12.
- [14] D. Panov, D. Petrović, M. Ranković, Ekskrecija polonijuma-210 posle ekspozicije zečeva radonu, D. Panov, *Zbornik radova VI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Ohrid, 25.-28. April, 1972, 431-438.
- [15] D. Novak, I. Kobal, Kratek pregled naravnega ojadja radioaktivnosti voda v Žirovskem vrhu, *Zbornik radova VIII simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Herceg Novi, 20-23. Maj 1975, 327-338.
- [16] D. Hajduković, I. Prijatelj, Simultana kontrola izloženosti štetnim agensima radnika u uranskom rudniku kod menjanja uslova ventilacije, *Zbornik radova XIII Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Pula 10-13. Juna 1985, 529-532.
- [17] D. Hajduković, I. Prijatelj, J. Rojc, V. Štruc, Ispitivanje efikasnosti zaštitnih šlemova u kontaminiranom delu jame rudnika urana RUŽV, *Zbornik radova XV simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Priština, 06-09. Juna 1989, 99-100.
- [18] R. Dajlević, M. Vukotić-Conić, Rezultati merenja koncentracije radona u rudniku urana i banjским mestima, *Zbornik radova I jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti*, Portorož 8-12. oktobra 1963, 8-9.
- [19] D. Radusinović, T. Anđelić, P. Vukotić, Radon u nekim specifičnim radnim prostorijama, *Zbornik radova XX simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Tara, 3-5. Novembra, 1999, 145-148.
- [20] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Sl. gl. RS 86/11 i Sl. gl. RS 50/18)
- [21] 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.
- [22] G. Đurić, D. Popović, J. Vaupotić, I. Kobal, P. Stegnar, Koncentracije radona u dečijim vrtićima u Beogradu i okolini, *Zbornik radova XVI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Neum, 28-31. maj, 1991, 31-34.
- [23] M. Peternel, B. Čanč, J. Vaupotić, M. Škofljanec, I. Kobal, P. Stegnar, Koncentracije radona v vrtcih iz Maribora in okolice, *Zbornik radova XVI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Neum, 28-31. maj, 1991, 111-114.
- [24] ICRP, Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65, Ann. ICRP 23(2). 1993.

- [25] O. Čuknić, S. Đurov, D. Nikezić, P. Marinković, Merenje koncentracije radona u zatvorenim prostorijama Požarevca i Svilajнца, *Zbornik radova XVII jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja*, Beograd-Vinča, 25-28. Mart, 1993, 99-102.
- [26] I. Petrović, G. Pantelić, R. Maksić, Ispitivanje koncentracije radona u stanovima u Republici Srbiji, *Zbornik radova XIX jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zračenja*, Golubac, 18-20. Jun, 1997, 207-209.
- [27] N. Žikić, Lj. Čonkić, I. Bikit, M. Krmar, Ž. Đurčić, M. Vesković, J. Slivka, Određivanje koncentracije ^{222}Rn u zatvorenim prostorinama, *Zbornik radova XX simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Tara, 3-5. Novembar, 1999, 83-86.
- [28] Z.S. Žunić, M. Kovačević, D. Alavantić, M.B. Spasić, Značaj istraživanja izloženosti stanovništva radonu, *Zbornik radova XXI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Kladovo, 10-12. Oktobar, 2001, 119-124.
- [29] S. Ćurčić, I. Bikit, Lj. Čonkić, M. Vesković, J. Slivka, E. Varga N. Žikić-Todorović, D. Mrđa, Prva Radonska Mapa Vojvodine, *Zbornik radova XXI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Petrovac n/m 29. Septembar - 1. Oktobar, 2003, 195-198.
- [30] Z.S. Žunić, I. Čeliković, P. Ujić, K. Fujimoto, A. Birovljev, I. V. Yarmoshenko, Istraživanje izloženosti radonu i toronu u ruralnim zajednicama, *Zbornik radova XXI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Petrovac n/m 29. Septembar - 1. Oktobar, 2003, 207-210.
- [31] G. Milić, B. Vučković, Lj. Gulan, I. Čeliković, Z.S. Žunić, Raspodela koncentracije aktivnosti radona i torona u kućama na Kosovu i Metohiji, *Zbornik radova XXVI simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Tara, 12-14. Oktobar, 2011, 150-154.
- [32] V. Udovičić, Nacionalni program za radon, regulativa i strategija. *Zbornik radova XXVII simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*. Vrnjačka Banja 2-4. Oktobra, 2013, 134-138.
- [33] V. Udovičić, D. Maletić, M. Eremić Savković, G. Pantelić, P. Ujić, I. Čeliković, S. Forkapić, D. Nikezić, V. Marković, V. Arsić, J. Ilić, *Zbornik radova XXVIII simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Vršac, 30. Septembar – 2. Oktobar, 2015, 173-180.
- [34] P. Jovanović, Sanacija bivalnoga objekta z visokimi koncentracijama radona in radonovih potomcev, *Zbornik radova XVI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Neum, 28-31. maj, 1991, 45- 50.
- [35] B. Pavlić, I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar, Građevinski postupci za smanjenje koncentracije radona u zgradama, *Zbornik radonva XVIII Simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Bečići, 24-26. maj 1995, 257-260.
- [36] R. Zekić, P. Vukotić, T. Anđelić, J. Kalezić, D. Vuksanović, R. Žižić, N. Svrkota, Redukcija nivoa radona u osnovnoj školi „Štampar Makarije“ u Podgorici, *Zbornik radonva XXII Simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*, Petrovac n/m, 29 septembar – 1. oktobar 2003, 203-206.

- [37] J. Planinić, Mjerenje koncentracije radona u zraku, *Zbornik radona XIII Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zraćenja*, Pula 10-13. Lipnja 1985, 169.
- [38] M. Križman, Značilni primeri visokih koncentracij radona-222 v zaprtih prostorih Sloveniji in ukrepi za njihovo zmanjševanje, *Zbornik radona XVI Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zraćenja*, Neum, 28-31. Maj 1991, 59-63.
- [39] D. Krstić, D. Nikezić, P. Marković, Difuziona komora za merenje radona sa elektretom i trag detektorom LR-115-2, *Zbornik radova XVII Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zraćenja*, Beograd-Vinča, 25-28. Mart, 1993, 85-88.
- [40] B. Jovanović, D. Nikezić, Računanje kalibracionog koeficijenta za merenje radona trag detektorom CR-39. *Zbornik radova XVII Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zraćenja*, Beograd-Vinča, 25-28. Mart, 1993, 89-92.
- [41] D. Kostić, D. Nikezić, D. Krstić, Raspodela tragova na detektoru CR-39 ozraćenog radonom za različite faktore ravnoteže, *Zbornik radova XX simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zraćenja*, Tara, 3-5. Novembra, 1999, 159-163.
- [42] S. Forkapić, K. Bikit, V. Arsić, J. Ilić, G. Pantelić, M. Živanović, Rezultati nacionalnog međulaboratoriskog poređenja u merenju koncentracije radona u vazduhu zatvorenih prostorija Beograd-Novii Sad 2015, godine. *Zbornik radova XXVIII Simpozijuma DZZSCG*, Vršac, 30. Septembar – 2. Oktobar, 2015, 212-221.
- [43] V. Urošević, D. Nikezić, Simulacija adsorpcije radona metodom konačnih elemenata i eksperimentalna verifikacija, *Zbornik radova XIX Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zraćenja*, Golubac, 18-20. Jun, 1997, 229-233.
- [44] V. Urošević, D. Nikezić, Simulacija skim-off metode za merenje koncentracije radona aktivnim ugljem, *Zbornik radova XX Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zraćenja*, Tara, 3-5. Novembar, 149-153.
- [45] G. Pantelić, M. Živanović, M. Rajačić, J. Nikolić, D. Todorović, Uticaj kalibracionog faktora na rezultat koncentracije radona, *Zbornik radova XXVII simpozijuma DZZSCG*, Vrnjačka Banja 2-4. Oktobra, 2013, 147-151.
- [46] M. Živanović, G. Pantelić, M. Rajačić, J. Nikolić, D. Todorović, Opravdanost korišćenja EPA krivih za korekciju na relativnu vlažnost vazduha kod merenja radona pomoću ugljenih filtera, *Zbornik radova XXVIII simpozijuma DZZSCG*, Vršac, 30. Septembar – 2. Oktobar, 2015, 234-240.
- [47] P. Ujić, I. Ćeliković, A. Kandić, I. Vukanac, M- Đurašević, A. Demajo, Z. Žunić, Merenje brzine ekshalacije radona iz građevinskih materijala metodom zatvorene komore, *Zbornik radova XXIV simpozijuma DZZSCG*, Zlatibor, 3-5. Oktobar, 2007, 99-103.
- [48] P. Ujić, I. Ćeliković, A. Awhida, B. Lončar, G. Pantelić, I. Vukanac, P. Kolarž, A. Kandić, M. Đurašević, M. Živanović, Merenje ekshalacije radona iz građevinskih materijala. *Zbornik radova XXIX simpozijuma DZZSCG*, Srebrno jezero, 27-29. Septembar, 2017, 219-224.
- [49] S. Grujić, A. Radukun-Kosanović, I. Bikit, D. Mrđa, S. Forkapić, Analiza difuzije radona kroz građevinske materijale. *Zbornik radova XXV simpozijuma DZZSCG*. Kopaonik, 30.9-2.10. 2009, 89-93.

- [50] J. Nikoliv, N. Todorović, I. Stojković, B. Tenjović, A. Vraničar, J. Knežević, S. Vuković, metode merenja ^{222}Rn u vodi. *Zbornik radova XXIX simpozijuma DZZSCG*, Srebrno jezero, 27-29. Septembar, 2017, 500-506.
- [51] V. Radolić, M. Poje Sovilj, D. Stanić, I. Miklavčić. Radon in soil gas and constructed geogenic radon potential in Croatia. *Zbornik radova XXIX simpozijuma DZZSCG*, Srebrno jezero, 27-29. Septembar, 2017, 192-199.
- [52] S. Forkapić, D. Maletić, J. Vasin, K. Bikit, D. Mrđa, I. Bikit, V. Udovičić, R. Banjanac. Korišćenje multivarijantne analize za predviđanje geogenog radonskog potencijala. *Zbornik radova XXIX simpozijuma DZZSCG*, Srebrno jezero, 27-29. Septembar, 2017, 210-218.
- [53] V. Udovičić, S. Forkapić, B. Grabež, A. Dragić, R. Banjanac, D. Joković, B. Panić. Varijacija koncentracije aktivnosti radona u Niskofonskoj podzemnoj laboratoriji u Beogradu. *Zbornik radova XXIV simpozijum DZZSCG*, Zlatibor, 2007, 77-81.
- [54] V. Udovičić, D. Maletić, A. Dragić, R. Banjanac, D. Joković, N. Veselinović, J. Filipović. Primena različitih metoda u analizi vremenskih serija koncentracije radona. *Zbornik radova XXVII simpozijum DZZSCG*, Vrnjačka Banja, 2013, 167-170.
- [55] R. Banjanac, V. Udovičić, A. Dragić, D. Joković, J. Puzović, I. Aničin. Karakteristike niskofonske podzemne laboratorije Instituta za fiziku u Zemunu. *Zbornik radova XXI simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja*. Petrovac n/m 29. Septembar - 1. Oktobar, 2003, 91-94.

OVERVIEW OF RADON RESEARCH PUBLISHED IN THE FIRST 29 SYMPOSIUMS OF RADIATION PROTECTION SOCIETY OF SERBIA AND MONTENEGRO

**Igor ČELIKOVIĆ¹, Vesna ARSIĆ², Sofija FORKAPIĆ³, Vladimir UDOVIČIĆ⁴
and Dragoslav NIKEZIĆ⁵**

- 1) *University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences „Vinča“, Belgrade, Serbia, icelikovic@vin.bg.ac.rs*
- 2) *Serbian Institute of Occupational Health „Dr Dragomir Karajović“, Belgrade, Serbia, s.vesna.a@gmail.com*
- 3) *University of Novi Sad, Department of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia, sofija@df.uns.ac.rs*
- 4) *University of Belgrade, Institute of Physics, Belgrade, Serbia, udovicic@ipb.ac.rs*
- 5) *University of Kragujevac, Faculty of Science, Kragujevac, Serbia, nikezic@kg.ac.rs*

ABSTRACT

Radon is natural radioactive gas. It is colourless, tasteless, odourless and therefore it cannot be detected by human senses, but should be measured. It was discovered at the beginning of XX century. At that time, high radon concentrations were measured in the Bohemian silver mines. However it took four decades before a connection between high radon concentration and lung cancer was assumed and one decade more to link radon progeny as a possible cause of lung cancer. Numerous epidemiological studies have shown that radon with its progeny represents second cause of lung cancer after smoking. The importance of investigation of radon and its progeny was acknowledged at the very beginning of Symposiums of Yugoslav society of radiation protection. Thus, already at the first Symposium, held in 1963, there were already several papers published regarding radon concentration measurements in mines and spas. In the first few proceeding of the Symposium the main contribution was from Serbian Institute of Occupational Health.

In this publication, an overview of research on radon, published in previous 29 Proceedings of symposiums of Radiation Protection Society, was given. Evolution of actuality of different radon topics was discussed and overview of used measurement techniques was given. Finally, it was estimated in which directions development of radon topics might go.