

Примљено 12. 05. 2003.			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	74/2		

НАУЧНО-NASTAVNOM VEĆU PRIRODNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA  
UNIVERZITETA U PRIŠTINI SA SEDIŠTEM U KOSOVSKOJ MITROVICI

Odlukom Nučno-nasatavnoavnog veća od 10.04 2003 godine, izabrani smo u komisiju za ocenu rukopisa doktorske disertacije Mr Gordane Milić pod naslovom »Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova i Metohije«. Uvezi sa tim Naučno-nastavnom veću podnosimo sledeći

## I Z V E Š T A J

### A. OBRAZLOŽENJE RUKOPISA DISERTACIJE

Doktorska disertacija Mr Gordane Milić pod naslovom »Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova i Metohije » napisana je na 100 stranica. Pored tekstualnog dela ima veliki broj matematičkih formula i ilustracija. Od ilustracija ima 39 tabela i 6 slika. Ukupna građa sadržaja disertacije se može podeliti na : uvod, teorijski deo, eksperimentalni deo, zaključak i literarura. Teorijski deo se sastoji od 4 poglavlja , a svako poglavlje od većeg broja paragrafa. Eksperimenralni deo ima jedno poglavlje i više paragrafa.

#### Uvod

U uvodu je u kratkim crtama ukazano na značaj naučnih istraživnja iz oblasti radona u svetu uopšte kao i značaj takvih istraživanja izvedenih u okviru ove disertacije. Pored ostalog, navedeno je da do kraja 1970-tih godina doze zračenja stanovništva od prirodnih izvora nisu razmatrane kao značajan fenomen, i prosečna godišnja doza bila je procenjena na 1 mSv. Stanje je promenjeno kada je 1970-tih i 1980-tih godina otkriveno da neke kuće u mnogim zemljama imaju visike nivoe koncentracije radona, od nekoliko stotina pa i nekoliko hiljada Bq/m<sup>3</sup>. Posle toga slede brojna istraživanja nacionalna i regionalna, u mnogim zemljama Evrope, Severnoj Americi, Japanu i Australiji. Na osnovu tih istraživanja utvrđeno je da je doza zračenja od radona oko 1 mSv za godinu, kolika je i od drugih prirodnih izvora zračenja. Ta činjenica je 1980- tih godina neminovno dovela do promene mišljenja o značaju uticaja radona na zdravlje ljudi u životnom prostoru. Na osnovu podataka epidemioloških studija o zračenjima u rudnicima , eksperimentima na životinjama i drugim relevantnim eksperimentima, radon je klasifikovan u kancerogene supstance I klase. U poslednje vreme epidemiološke studije izvode moguće procene rizika stanovništva od izloženosti radonu u svojim domovima. Danas se smatra da je posle pušenja radon drugi najveći uzrok kancera pluće.

Nema sumnje da je radon najveći uzrok zračenja u čuvekovojoj okolini u neakcidentnim situacijama, zato je merenje koncentracije radona u stambenim i drugim radnim prostorijama veoma značajno za određivanje maksimalno dozvoljene vrednosti koncentracije kojom može biti izloženo stanovništvo zračenju od radona i za identifikaciju lokacija sa povećanim nivoima zračenja, što je i predmet ove disertacije. Disertacija ima za cilj regionalno istraživanje radona na teritoriji Kosova i Metohije, što se uostalom i iz naslova može zaključiti, a koje je trebalo da bude u okviru nacionalnog programa za radon u SR Jugoslaviji.

## Teorijski deo

U teoretskom delu disertacije vrlo vešt看im selektivnim izborom teoretske građe, iz mnogobrojne literature, prikazane su najznačajnije karakteristike radona i njegovih potomaka. Pošto je o radonu do danas mnogo toga publikivano, čak su i mnoge knjige napisane, ovde su izneti samo oni podaci koji radon čine značajnim i atraktivnim za mnogobrojna naučna istraživanja u naučno-istraživačkim centrima u svetu i ono što je potrebno da se zna kako bi se uspešno realizovala istraživanja koja su predmet ove disertacije i pravilno i jasno protumačili eksperimentalni rezultati.

Navedeni su podaci o : poreklu radona, fizičkim i hemijskim osobinama radona, potomcima radona, izvorima radona, emanaciji radona i njegovoj koncentraciji, koncentraciji radona na različitim dubinama zemlje, radon u podzemnoj vodi, transportu radona, radonu i njegovim produktima raspada u atmosferskom vazduhu, radonu u zgradama, metodama merenja radona i dr. Obrazložićemo samo one teorijske podatke koje su, po našem mišljenju, bile najznačajnije za relizaciju eksperimentalnih istraživanja i tumačenje dobivenih rezultata.

Kada je reč o radonu uopšte navodi se da radon ima četiri izotopa i to:  $^{86}\text{Rn}^{222}$  (radon),  $^{86}\text{Rn}^{218}$ ,  $^{86}\text{Rn}^{219}$  (aktinon) i  $^{86}\text{Rn}^{220}$  (toron). Svi su članovi prirodnih radioaktivnih nizova koji počinju sa  $^{92}\text{U}^{238}$ ,  $^{92}\text{U}^{235}$ ,  $^{90}\text{Th}^{232}$  i, izuzev  $^{218}\text{Rn}$ , direktni su potomci izotopa radijuma. Od navedenih izotopa najznačajniji je  $^{222}\text{Rn}$  zbog dužeg života ( srednje vreme života je 5,51 dan) i većeg procentualnog sadržaja u prirodi. Srednje vreme života izotopa  $^{219}\text{Rn}$  je 5.71 s, a  $^{220}\text{Rn}$  80.2 s. Sadržaj ostalih izotopa u odnosu na izotop  $^{222}\text{Rn}$  je neuporedivo mali. Zato informacije koje dobijamo sa većih dubina o izvoru radona ili procesima u zemlji uglavnom potiču od radona  $^{222}\text{Rn}$ . Nešto veći doprinos može da ima radon  $^{220}\text{Rn}$  na kratkim rastojanjima. Izuzetno visok odnos Th/U može da dovede do velikog povećanja sadržaja  $^{220}\text{Rn}$  u odnosu na  $^{222}\text{Rn}$ . Takav se jedan slučaj navodi u disertaciji kada i  $^{222}\text{Rn}$  može da bude štetan po zdravlje ljudi.

Pošto su izotopi radona, izuzev  $^{218}\text{Rn}$ , direktni potomci Ra, to znači da je njihova produkcija proporcionalna sadržaju radijuma u zemlji. Naravno  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{219}\text{Rn}$  se stvaraju tamo gde ima urana, a  $^{220}\text{Rn}$  tamo gde ima torijuma.

Očigledno je, dakle, da se na osnovu navedenih podataka može doći do saznanja gde treba očekivati povećanu koncentraciju radona. Važi i obrnuto mesta sa povećanom koncentracijom radona mogu biti potencijalna nalazišta urana ili torijuma.

O potomcima radona se, pored ostalog, navodi da su metalni atomi Po, Bi i Pb koji se koncentrišu na neku čvrstu ili tečnu fazu sa kojom dođu u kontakt. U vazduhu su prisutne sitne čestice kao što su aerosoli, na kojima se talože radioaktivni potomci. Prisustvo tih čestica je  $10^{-3}\text{ cm}^{-3}$  u »čistom« vazduhu pa do  $10^5\text{ cm}^{-3}$  u urbanim

sredinama. Vazduh zatvorenog prostora naročito je pogodan za aerosole, kao depozitare radioaktivnih potomaka. Tako da se u nižim slojevima ravnotežna aktivnost od svakog potomka može veoma približiti onoj od radona.

Radon i toron nisu direktno štetni po zdravlje ljudi već njegovi potomci koji imaju kratko vreme života. Radon kao plemenit gas sa relativno dugim vremenom života može biti izdahnut iz pluća pre nego se raspadne. Nasuprot njemu, neposredno stvoreni raspadom  $^{222}\text{Rn}$ , potomci  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Po}$  kao delovi u čvrstoj fazi, prilepljeni na aerosolima, mogu da se udišu i da se natalože na površinu epitela unutar pluća, i brzo raspadnu. Osetljive površine bronhija ozrače se ovim raspadima, najviše energetski i destruktivno teškom jonizacijom alfa čestica kratkog dometa od izotopa  $^{218}\text{Po}$  i  $^{214}\text{Po}$ .

Sa toronom je nešto drugačiji slučaj. Njegov prvi potomak  $^{216}\text{Po}$  (srednji život 0.22 s) se veoma brzo raspada, praktično istovremeno sa toronom ( $^{220}\text{Rn}$ ). Sledi, međutim,  $^{212}\text{Bi}$  sa dovoljno dugim srednjim životom, tako da se njegov najveći deo transportuje do bronhije pluća. Primarni zdravstveni efekat se manifestuje na mestima gde se alfa emisijom raspada njegov potomak  $^{212}\text{Po}$ .

Iz ovih podataka se jasno vidi zašto su i na koji način štetni po zdravlje radon i njegovi potomci.

Zanimljivi podaci se navode i o izvorima radona. Radon je produkt raspada radijuma  $^{88}\text{Ra}^{226}$  pa njegova koncentracija u supstancama zavisi od sadržaja radijuma, a kako je radijum jedan od nukleida formiranih u dezintegracionom nizu urana, to znači da je osnovni izvor radona uran. Date su tipične prosečne vrednost koncentracije radona  $^{222}\text{Rn}$  u nekim sredinama. Prema navedenim podacima najveća koncentracija radona je u unutrašnjosti nekih tipičnih minerala, zatim u zemljinom gasu, pa u nekim kućama, vazduhu iznad površine zemlje i najmanja u vazduhu iznad okeana. Koncentracija radona u mineralnim zrnima je  $500\ 000\ \text{cm}^{-3}$ , u zemljinom gasu  $20\ 000\ \text{cm}^{-3}$ , u nekim kućama u SAD  $20\ \text{cm}^{-3}$ , u vazduhu iznad površine zemlje  $4\ \text{cm}^{-3}$  i u vazduhu iznad okeana  $0,04\ \text{cm}^{-3}$ . Na osnovu ovih koncentracija se lako zaključuje da radon vodi poreklo od raspada radijuma u mineralnim zrnima odakle se manji deo oslobađa pre dezintegracije i kreće se kroz prostore zemljinih pora do površine zemlje. Kuće koje se nalaze u međuprostor zemlje i kontinentalne atmosfere imaju koncentraciju radona između vrednosti ovih sredina.

Uran i torijum kao početni izvori radona se najviše nalaze u meterinskim i drugim mineralima. Njihov sadržaj varira u vrlo širokom intervalu od kvaca ( $\text{SiO}_2$ ) sa manje od  $3 \cdot 10^{-12}\ \text{g/g}$  do  $\text{UO}_2$  sa  $0.88\ \text{g/g}$ . Sadržaj urana u tipičnim kontinentalnim stenama je poretka  $10^{-6}\ \text{g/g}$ , a u bazaltnim stenama ispod okeana je poretka  $10^{-7}\ \text{g/g}$ . Sredine u kojima se primarno nalaze i U i Th su magmatske stene bogate silicijumom. To su neke forme granita i sijanita, zatim eruptivne stene reolit i porflit. U principu oksidi minerala imaju veći sdržaj urana od samih minerala.

Poznavanje ovih podataka takođe je potrebno radi lociranja potencijalnih nalazišta urana i torijuma odnosno mesta sa anomalno povećanom koncentracijom radona.

Pošto su disertacijom obuhvaćena istraživanja radona u objektima stanovanja potrebno je navesti nekoliko podataka o istoj vrsti istraživanja u svetu. U mnogim zemljama su urađena regionalna ili nacionalna merenja koncentracije radona u zgradama. Detaljan pregled tih merenja izvedenih u velikom broju zemalja u svetu u disertaciji je prikazan tabelarno. Navodimo samo najzanimljivije rezultate.

U SAD je merenjem obuhvaćeno 55.000 slučajno odabranih kuća u 38 država i 255 oblasti. U 78.4 % kuća koncentracija radona je bila iznad  $74 \text{ Bq/m}^3$ , u 57.3 % iznad  $148 \text{ Bq/m}^3$ , u 31.7 % iznad  $296 \text{ Bq/m}^3$  i u 8.6 % iznad  $740 \text{ Bq/m}^3$ . Krajnje visoka vrednost preko  $410 \text{ kBq/m}^3$  izmerena je u suterenu kuće u državi Arizona koja je, u suterenu, imala nepokriveni izvor vode u kojoj je koncentracija radona bila  $3.5 \text{ MBq/m}^3$ .

U Saksoniji i susednoj Turingiji u Nemačkoj ima 40 podzemnih i 4 površinska rudnika koji su tokom godine u eksploataciji. Više od 200 000 rudara je bilo izloženo zračenju čija je ekvivalentna efektivna doza od 0.3- 30 Sv/god. Preduzimanje odgovarajućih mera zaštite, kasnije, je ta doza smanjena na nivo od 10-40 mSv/ god. Otpadni materijal iz rudnika, koji pokriva prostor od  $10\,000 \text{ km}^2$ , zrači radon u otvoren prostor od 1-3  $\text{kBq/m}^3$ . Kuće koje su sagrađene od otpadnog materijala i stena iz rudnika imaju koncentraciju radona od 30-150  $\text{kBq/m}^3$ .

Istraživanjima u Švedskoj nađeno je da oko 1% kuća ima koncentraciju radona iznad  $800 \text{ Bq/m}^3$ , a najveća izmerena vrednost je  $40\,000 \text{ Bq/m}^3$ .

U mnogim zemljama su, na osnovu geo-meteoroloških i građevinski-tehničkih uslova, usvojene maksimalno dozvoljene vrednosti koncentracije radona i njihovih potomaka (interventni nivoi) u domovima. U disertaciji su tabelarno date vrednosti interventnih nivoa za mnoge zemlje kao i preporuke nekih međunarodnih organizacija.

Kao primer navodimo interventni nivo u SAD koji iznosi  $150 \text{ Bq/m}^3$ .

Saglasno UNSCEAR – u ( United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) od 1993 godine, prosečna koncentracija radona u zatvorenom prostoru je  $40 \text{ Bq/m}^3$ , a u otvorenom  $10 \text{ Bq/m}^3$ .

Ovi su podaci potrebni radi upoređivanja eksperimentalno dobivenih rezultata u disertaciji.

Među teoretskim podacima navestćemo i nekoliko podataka o metodama detekcije i merenja koncentracije radona. Detekcija i merenje koncentracije radona može da se obavi neposredno, merenjem radona ili posredno preko njegovih potomaka. Radon i neki njegovi potomci ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ) raspadaju se putem emisije alfa čestica. Potomci  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Bi}$  su beta emiteri sa pratećim gama zračenjem. Shodno tome detekcija i merenje koncentracije radona zasniva se na detekciji i merenju alfa, beta i gama zračenja pri njihovoj interakciji sa različitim materijama, koje se koriste pri različitim tehnikama merenja. Danas se za merenje koncentracije radona koristi oko petnaestak metoda. Većina je od njih u disertaciji nabrojana i o svakoj od njih je ponešto rečeno. Najviše je rečeno o metodi čvrstih detektora tragova, koja se inače koristi u eksperimentalnim istraživanjima u ovoj disertaciji.

## **Eksperimentalni deo**

Eksperimentalna merenja su započeta u rudnicima Trepče. To su, kao što je poznato, olovo- cinkani rudnici sa jamskom eksploatacijom. Izbor rudnika za početak merenja nije slučajan. Iz napred navedenog vidi se da je i u svetskim istraživanjima najveća koncentracija radona izmerena u rudnicima sa jamskom eksploatacijom. Drugi razlog je veliki broj ljudi koji je radio u tim rudnicima i u slučaju povećane koncentracije radona njihovi životi bili bi u opasnosti.

Sledeći objekti merenja su objekti stanovanja, najčešće privatne kuće ali i veliki stambeni blokovi u urbanim sredinama. Radi se, dakle o regionalnom mernju koncentracije radona u zatvorenom prosturu. Merenjem je zahvaćen širok region, praktično ceo centralni i istočni deo Kosova i Metohije. Merenje je izvedeno u : Prištini i njenoj okolini ( Gračanica, Kosovo Polje, Dobrotin, Gušterica, Obilić) Brezovici, na obroncima Skopske Crne Gore ( Gornja Stubla) i Kosovskom Pomoravlju.

Od mnogobrojnih metoda merenja koncentracije radona izabrana je metoda čvrstih detektora tregova i to takozvana pasivna tehnika. Korišćeni su dozimetri Instituta Jožef Stefan iz Ljubljne, u kojima su bili plastični detektori tipa CR-39.

Izvršena su mnogobrojna merenja sa namerom da se odredi ne samo srednja godišnja koncentracija određenog objekta ili regiona, već da se utvrdi i zavisnost koncentracije od klimatskih uslova (godišnjeg doba), građevinskog materijala i dr. faktora koji utiču na vrednost koncentracije radona. Rezultati su prikazani u dvadeset tabela. Za svaki rudnik ili naselje određena su aritmetička sredina, geometrijska sredina i geometrijska standardna devijacija.

Maksimalna izmerena koncentracija u jami »Trepča« iznosi  $1360 \text{ Bq/m}^3$ , a srednja aritmetička sredina  $260 \text{ Bq/m}^3$ . U rudniku »Novo Brdo« najveće izmerena vrednost koncentracije je  $2815 \text{ Bq/m}^3$ , a srednja aritmetička vrednost je  $953 \text{ Bq/m}^3$ . U jamama »Ajvalija« i »Kišnica« srednja aritmetička vrednost je  $246 \text{ Bq/m}^3$ .

Srednja vrednost koncentracije radona u merenim objektima u Prištini je  $54 \text{ Bq/m}^3$ , Brezovici  $50 \text{ Bq/m}^3$ , Gračanici  $211 \text{ Bq/m}^3$ , Kosovom Polju  $293 \text{ Bq/m}^3$ , Gušterici i Dobrotinu  $292 \text{ Bq/m}^3$ , Kosovskom Pomoravlju  $100 \text{ Bq/m}^3$ , Grnjoj Stubli  $700 \text{ Bq/m}^3$ .

Ako se za poređenje uzme maksimalno dozvoljena vrednosti koncentracije radona ( interventni nivo) za SAD koji iznosi  $150 \text{ Bq/m}^3$ , onda se može zaključiti da je koncentracija radona u rudnicima nešto malo iznad tog nivoa, sem Novog Brda gde je nešto veća, iako se očekivalo da bi u njima poput nekih u svetu trebalo da koncentracija bude mnogo veća.

Što se stanova tiče u Prištini, Brezovici i Kosovskom Pomoravlju, koncentracija radona je daleko ispod referentnog nivoa. Nešto je veća u naseljenim mestima u okolini Prištine. U disertaciji su navedeni razlozi zbog kojih bi moglo da dođe do povećanja koncentracije u stanovima ovih naselja. Izmereni rezultati koncentracije radona u skladu su i sa preporukama UNSCAR – a od 1993 godine, prema kojima bi prosečna koncentracija u zatvorenom prostoru trebala da iznosi oko  $40 \text{ Bq/m}^3$ .

Anomalno povećana koncentracija radona je na području Skopske Crne Gore, tačnije u selu Gornja Stubla . Maksimalna izmerena koncentracija radona je oko  $2800 \text{ Bq/m}^3$ , prosečna  $700 \text{ Bq/m}^3$ . Na tom području je vršeno detaljno istraživanje zavisnosti koncentracija od građevinskog materijala, klimatskih uslova, visinske razlike i drugih faktora koji utiču na fluktuacije koncentracije radona u zgradama.

## B. ZAKLJUČAK I PREDLOG

O značaju istraživanja koja su predmet disertacije smatramo da je, iz napred navedenog, dovoljno rečeno. Nešto više ćemo reći o značaju i vrednostima dobivenih rezultata. Napominjemo da se ovakvom vrstom istraživanja na Kosovu i Metohiji niko nije bavio, a u ostalim delovima zemlje istraživanja nisu bila sistematska .Utoliko su dobiveni rezultati značajniji. Ovi rezultati su pleriminarni koji su trebali da posluže za

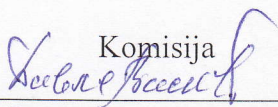
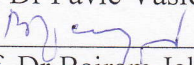
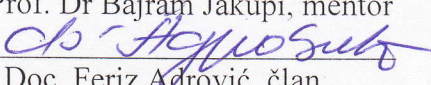
testiranje izabrane metode merenja i da se na osnovu njih dobije nekakva slika distribucije radona na istraživanom regionu. Odmah se, međutim pokazalo da je izabrana metoda merenja izvanredna i da su rezultati merenja solidni. Dobiveni rezultati su prezentovani na mnogim naučnim skupovima u zemlji i inostranstvu i veoma povoljno ocenjeni. Posle prezentovanja i publikovanja rezultata pojavio se interes mnogih istraživača iz zemlje i inostranstva. Najpre su se zainteresovali neki saradnici iz Instituta nuklearnih nauka u Vinči. Ubrzo je došlo do saradnje i ponovljeno je merenje skoro na svim merenim mestima, ali sada sa novim dozimetrima iz Grčke. Rezultati su bili gotovo indentični. Posle objavljivanja rezultata obnovljenih merenja pojavio se interes i istraživača iz inostranih naučnih centara. Najpre Grci, a potom Irci i Japanci. Najveći interes je bio za Gornju stublu, jer i prema pleriminarnim rezultata iz disertacije to područje je, prema određenim međunarodnim kriterijumima, spadalo u područje sa visokim nivom prirodnoga zračenja. Dalja merenja ne samo da su potvrdila rezultate iz disertacije, već su pokazala da je u nekim kućama tamo koncentracija i veća. U tim istraživanjima maksimalna izmrežena koncentracija radona u Grnjoj Stubli bila je više od 9000 Bq/m<sup>3</sup>. Udvrđena je potom i povećana doza prirodnog gama zračenja kao i povećana koncentracija urana i torijuma u stenama sa tog područja.

I da na kraju napomenemo, da je ovo jedan od retkih slučajeva da su rezultati disertacije naučno verifikovani i priznati pre nego je disertacija odbranjena.

Mr. Gordana Milić ima 5 naučnih radova, od kojih je 3 prezentovano na naučnim skupovima u zemlji, jedan je prezentovan na jednom naučnom skupu u inostranstvu (Rumunija), a jedan je štampan u jednom inostranom časopisu (Engleska).

Na osnovu napred navedenog smatramo da je Mr Gordana Milić svojom disertacijom pod naslovom » Distribucija radina u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova i Metohije« dala značajan doprinos fizičkim naukama u zamlji pa i svetu. Pored toga ona ispunjava i sve druge zakoske uslove da može da brani svoju urađenu doktorsku disertaciju.

Zato, predložemo Nastavno-Naučnom veću (Dekanu) da odobri javnu odbranu ove disertacije i da izabere komisiju za odbranu.

- Komisija
1.   
Prof. Dr Pavle Vasić, predsednik
  2.   
Prof. Dr Bajram Jakupi, mentor
  3.   
Doc. Feriz Adrović, član