



RADON U KUĆAMA U VUKOVARSKO-SRIJEMSKOJ ŽUPANIJU

Vanja Radolić¹, Luka Novaković², Goran Jerković³ i Branko Vuković¹

¹Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6,
31000 Osijek

²OŠ "Josip Kozarac", Kralja Tomislava 5a, 32255 Soljani

³OŠ "Mirka Pereša", Ulica 1. svibnja 2, 43203 Kapela
e-mail: vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon je prirodni radioaktivni plin s najvećim udjelom u ukupno primljenoj dozi opće populacije koja potječe od prirodne radioaktivnosti i kao takav je, nakon pušenja, drugi najveći uzročnik raka pluća [1]. Stoga su mnoge države usvojile zakonske odredbe usmjerene na zaštitu od radona te učinile značajan napor u identifikaciji područja s povišenom radonskom koncentracijom. Zbog činjenice da radon u kućama može značajno varirati u kratkom vremenu, izrada radonskog zemljovida postaje složena te jako ovisi o primarnom cilju istraživanja i primijenjenoj metodologiji mjerenja. Mnoge europske zemlje su provele mjerenja radona u kućama i tlu na nacionalnom nivou, a rezultati su sumirani u publikaciji Istraživačkog centra Europske komisije (ICEK) [2]. Trenutno se radi na harmonizaciji različitih pristupa izradi nacionalnih radonskih zemljovida koja će rezultirati transnacionalnim radonskim zemljovidom Europe. Istraživačka grupa za radon s Odjela za fiziku Sveučilišta u Osijeku također sudjeluje u opisanim aktivnostima, temeljem višegodišnjeg iskustva u mjerenju koncentracije radona u kućama (domaćinstvima, školama i dječjim vrtićima) [3, 4], u tlu (pretežno u okolini Osijeka, ali i u sjevernoj i istočnoj Hrvatskoj) [5, 6], kao i u termalnim vodama hrvatskih toplica [7]. Tijekom 2003. i 2004. godine provedena su sustavna istraživanja radona u kućama u RH [8] s ciljem: (i) procjene srednje godišnje koncentracije radona u kućama što nam je omogućilo određivanje postotka kućanstava u kojima koncentracija radona prelazi preporučene vrijednosti (200 odnosno 400 Bq m⁻³); (ii) identifikacije područja s povišenom radonskom koncentracijom. Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju nastavak prethodnog istraživanja. Naime, tada je obavljeno četrdesetak mjerenja u Vukovarsko-srijemskoj županiji (VS), a s ovih novih stotinjak mjerenja, značajno se poboljšava poznavanje raspodjele koncentracije radona u navedenoj županiji.

MATERIJALI I METODE

Radon u kućama smo mjerili pasivnim detektorima nuklearnih tragova LR-115, tip II (proizvođač Kodak-Pathe, Francuska). Na cilindrične plastične posude detektora, promjera 11 cm i visine 7 cm, učvrstili smo film dimenzija 2×3 cm (tzv. vanjski detektor), a s unutrašnje strane, na poklopcu, je postavljen film istih dimenzija, tzv. difuzijski detektor. Koncentracija radona u zraku je određena kao produkt koeficijenta osjetljivosti i gustoće tragova na difuzijskom detektoru. Koeficijent osjetljivosti difuzijskog detektora iznosio $30 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3} / \text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dok je pozadinsko zračenje uzrokovalo oko 23 tr cm^{-2} .

Metoda s dva detektora nuklearnih tragova omogućava određivanje ravnotežnog faktora, F, između radona i njegovih potomaka u zraku kao i bolju procjenu radonske doze. Ravnotežni faktor se određuje prema izrazu:

$$F = a D/Do + b, \quad (1)$$

uz vrijednosti parametara: $a = 0,50$ i $b = -0,53$ [9].

Procjena efektivne doze (H) od radona i njegovih potomaka u kućama izvršena je pomoću izraza

$$H=(k_1+k_2 F)cT, \quad (2)$$

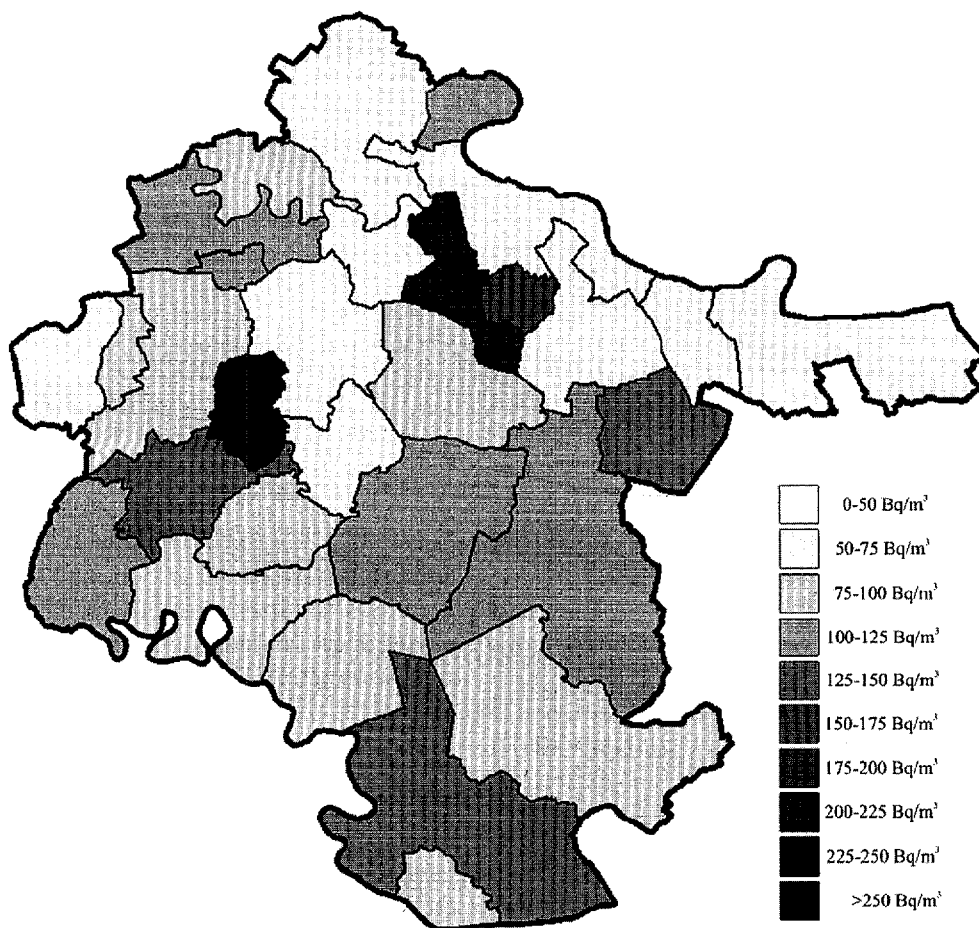
gdje su faktori konverzije $k_1 = 0,17 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1}\text{h}^{-1}$ i $k_2 = 9,0 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1}\text{h}^{-1}$, F ravnotežni faktor, c koncentracija radona, a T vrijeme izlaganja izraženo brojem sati u godini dana koju osoba provede u kući [4].

Lokacije na kojima su izvršena mjerenja su izabrane nasumično, a prema kriteriju: 1 mjerenje na 4000 stanovnika (kampanja 2003/04) odnosno najmanje tri mjerenja u svakoj općini VS županije (2006/07). Detektori su postavljeni krajem listopada 2006. godine, a bili su izlagani 5 mjeseci pa je neophodno napraviti korekciju zbog sezonskih varijacija radona. Naime, poznato je da su koncentracije radona u kućama više u zimskim mjesecima nego u ljetnim zbog smanjene ventilacije zraka. Dakle, potrebno je izmjerenu vrijednost koncentracije radona podijeliti sa srednjom vrijednošću mjesečnih korekcija za mjesec u kojima su detektori bili izlagani (studeni – ožujak) odnosno s faktorom 1,248 (srednju godišnju koncentraciju radona potrebno je pomnožiti s faktorom 1,37 ako bismo htjeli procijeniti kolika je bila razina radona za mjesec siječanj; 1,32 za veljaču; 1,22 za ožujak; 1,06 za travanj; 0,91 za svibanj; 0,76 za lipanj; 0,61 za srpanj; 0,66 za kolovoz; 0,81 za rujanj; 0,96 za listopad; 1,11 za studeni te 1,22 za prosinac [10]).

Nakon izlaganja detektori su jetkani u 10% vodenoj otopini NaOH na temperaturi 60°C u trajanju od 120 min, a potom su vizualno brojani pomoću optičkog mikroskopa s povećanjem 10×10 .

REZULTATI

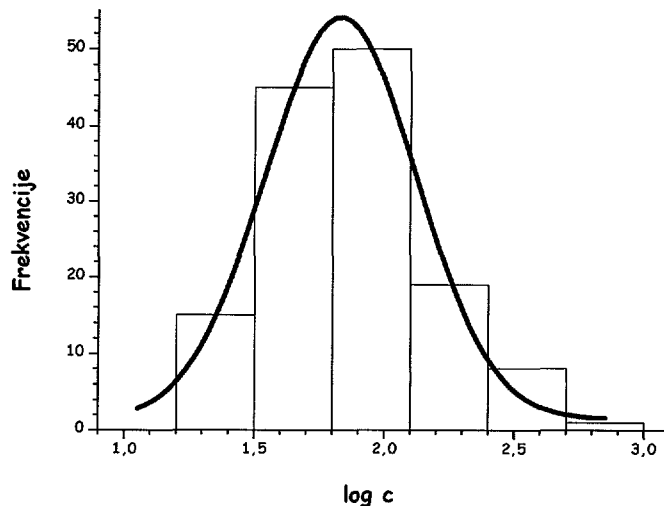
Aritmetička sredina radonskih koncentracija u kućama VS županije iznosi 95 Bq m^{-3} s pripadnom standardnom devijacijom od 80 Bq m^{-3} dok je geometrijska sredina 74 Bq m^{-3} . Pritom je srednja relativna pogreška mjerenja koncentracije radona iznosila 7,9% (sve su unutar intervala od 4,9 – 10,6%). Aritmetička sredina procijenjenog ravnotežnog faktora iznosi 0,512, a određen je sa srednjom relativnom pogreškom od 14,8% (5,0 – 34,5%). Prostorna raspodjela radona u gradovima i općinama VS županije je prikazana na Slici 1.



Slika 1. Zemljovid koncentracije radona po općinama za Vukovarsko-srijemsku županiju

Općina s najnižom prosječno izmjerenom koncentracijom radona je grad Vukovar sa 51 Bq m^{-3} za 8 izvršenih mjerenja dok su Andrijaševci općina s najvišom prosječnom radonskom razinom od 269 Bq m^{-3} za 3 mjerenja.

Pretpostavka da raspodjela radona u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju je testirana pomoću statističkog χ^2 -testa. Za sve izmjerene radonske koncentracije se izračuna dekadski logaritam i zatim se izbroji koliko takvih kuća ima u određenom razredu (interval širine 0,3 na logaritamskoj skali). Iz dobivenih empirijskih i odgovarajućih teorijskih frekvencija se izračuna χ^2 i provede se testiranje za određeni broj stupnjeva slobode ($\chi^2 = 7,39 < \chi^2_{0,05} = 9,488$ za 4 stupnja slobode). Potvrđena je pretpostavka da raspodjela empirijskih frekvencija radona u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju. Histogram dobivenih empirijskih frekvencija je prikazan na Slici 2.



Slika 2. Histogram empirijskih frekvencija po logaritmima radonskih koncentracija te fitovana teorijska krivulja Gaussove distribucije.

Postotak kuća u kojima je koncentracija radona iznad 200 odnosno 400 Bq m^{-3} iznosi 8,7% odnosno 1,4% i u usporedbi s rezultatima na nacionalnom nivou [8] (5,4% kuća iznad 200 Bq m^{-3} i 1,8% kuća iznad 400 Bq m^{-3}) se može vidjeti da je u VS županiji nešto veći broj kuća s koncentracijama između 200 i 400 Bq m^{-3} , no manji s visokim koncentracijama što se pripisuje geološkoj strukturi tla u ovom dijelu RH (sedimentna tla niske permeabilnosti).

Procjena prosječnog godišnjeg efektivnog doznog ekvivalenta za stanovnike VS županije izvedena je prema jednadžbi (2), a uz pretpostavku da pojedinac 60% svog vremena provodi u kući ($t = 0,6 \times 365,25 \times 24 \text{ h} = 5260 \text{ h}$).

Tada, uz srednju vrijednost radonske koncentracije od 95 Bq m^{-3} i srednji ravnotežni faktor od 0,512, vrijednost srednjeg godišnjeg efektivnog doznog ekvivalenta koji potječe od radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovnike VS županije iznosi $H_E = 2,4 \text{ mSv}$. Međutim, na lokaciji u Bogdanovcima gdje je izmjerena koncentracija radona od 548 Bq m^{-3} i uz ravnotežni faktor od 0,232 osoba godišnje primi efektivni dozni ekvivalent od $6,5 \text{ mSv}$.

ZAKLJUČAK

Petomjesečna mjerenja koncentracije radona u kućama VS županije obuhvatila su svih 5 gradova i 25 općina. Radonska koncentracija mjerena je metodom s dva detektora nuklearnih tragova LR-115 II koja omogućava i procjenu ravnotežnog faktora. Izmjerene vrijednosti bile su u području od 18 do 548 Bq m^{-3} , s aritmetičkom sredinom od 95 Bq m^{-3} , a geometrijskom sredinom od 74 Bq m^{-3} . Radon u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju. Postotak kuća u kojima je koncentracija radona iznad 200 odnosno 400 Bq m^{-3} iznosi 8,7% odnosno 1,4%. Srednji godišnji efektivni dozni ekvivalent koji potječe od radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovnike VS županije iznosi $H_E = 2,4 \text{ mSv}$.

LITERATURA

- [1] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005; 330: 223, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63
- [2] Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. Institute for Environment and Sustainability of the Directorate General Joint Research Centre of the European Commission; Office for Official Publication of the European Communities, 2005. ISBN 92-79-01066-2
- [3] Planinić J, Šmit G, Faj Z, Šuveljak B, Vuković B, Radolić V. Radon in schools and dwellings of Osijek. *J Radioanal Nucl Chem* 1995;191:45-51.
- [4] Planinić J, Faj Z, Radolić V, Šmit G, Faj D. Indoor radon dose assessment for Osijek. *J Environ Radioact* 1999;44:97-106.
- [5] Planinić J, Vuković B, Faj Z, Radolić V, Stanić D. Radon in soil and homes of Osijek (paper no. N-087). In: D'Alberti F, Osimani C, Eds. CD-ROM Proceedings of 1st European IRPA Congress, October 08-11 2002; Firenze, Italy. AIR & IRPA; 2002.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [6] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Miklavčić I, Planinić J. Radon in houses and soil of Croatia (paper no. P-199). CD-ROM Proceedings of 2nd European IRPA Congress on Radiation Protection "Radiation Protection: from Knowledge to Action", May 15-19 2006, Paris, France, SFRP; 2006.
- [7] Radolić V, Vuković B, Šmit G, Stanić D, Planinić J. Radon in the spas of Croatia, *J Environ. Radioact.* 2005;83:191-198.
- [8] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Katić M, Faj Z, Šuveljak B, Lukačević I, Faj D, Lukić M, Planinić J. National survey of indoor radon levels in Croatia, *J Radioanal Nucl Chem* 2006;269:87-90.
- [9] Planinić J, Radolić V, Faj Z, Šuveljak B. Radon equilibrium factor and aerosols. *Nucl Instrum Methods Phys Res A.* 1997;396:414-417.
- [10] Radiological Protection Institute of Ireland (RPII). RPII standard protocol for determination of the annual average radon gas concentration in domestic dwellings. Dublin, Ireland. 2002.

RADON IN HOUSES OF VUKOVAR-SRIJEM COUNTY

Vanja Radolić¹, Luka Novaković², Goran Jerković³ and Branko Vuković¹

¹Department of Physics, University of Osijek, Trg Lj. Gaja 6, 31000 Osijek

²Elementary school "Josip Kozarac", Kralja Tomislava 5a, 32255 Soljani

³Elementary school "Mirka Pereša", Ulica 1. svibnja 2,

43203 Kapela, Croatia

e-mail: vanja@fizika.unios.hr

During years 2003 and 2004, a long-term indoor radon measurements in some, randomly selected, homes in Croatia were performed by LR-115 track etch detectors. The number of exposed detectors in each of 20 Croatian counties was set according to population criteria (one detector per 4000 inhabitants) and around 40 measurements were performed in Vukovar-Srijem County. Additional measurements are followed in years 2006-07 and these results rapidly improve the knowledge of spatial distribution of indoor radon concentration in this County.

Radon was measured by method with two LR-115 type II nuclear track detectors which enable the estimation of equilibrium factor as well as the assessment of the annual effective dose. The obtained values were in range of 18 to 548 Bq m⁻³, with the arithmetic and geometric means of 95 Bq m⁻³ and 74 Bq m⁻³, respectively. The municipality with lowest average radon level of 51 Bq m⁻³ is city of Vukovar while Andrijaševci has the highest average radon concentration of 269 Bq m⁻³. The average estimated equilibrium factor in Vukovar-Srijem County is 0.512; the relative error of the estimation is 14.8%.

The statistical χ^2 -test, applied on the empirical and theoretical frequencies, show that the empirical frequency distribution for the radon in houses of Vukovar-Srijem County belonged to the log-normal distribution (calculated parameter, $\chi^2 = 7.39$, was lower than the theoretical one, $\chi^2_{0.05} = 9.49$, for 4 degrees of freedom and significance level of 0.05).

The percentage of houses with radon concentrations above 200 or 400 Bq/m³ was 8.7 % and 1.4%, respectively.

The assessment of the annual effective dose from the indoor radon and its short-lived progenies for the inhabitants of Vukovar-Srijem County (for the average equilibrium factor of 0.512 and occupancy factor of 0.6) gave the average effective dose of 2.4 mSv/y.