



## RADONSKI ZEMLJOVID ZA GRAD OSIJEK

*Vanja RADOLIĆ, Zdravko FAJ, Goran ŠMIT, Dominika ČULO i Josip PLANINIĆ*

Pedagoški fakultet Sveučilišta u Osijeku, p.p. 144, Osijek

### UVOD

Koncentracije aktivnosti radona  $\{c_0 (^{222}\text{Rn})\}$  u zraku izmjerene su u svrhu određivanja efektivnog doznog ekvivalenta, kao i radonskog zemljovida za grad Osijek. Pomoću detektora nuklearnih tragova LR-115, te poluvodičkog detektora Radhome i scintilacijskih posudica sustavno su izmjerene radonske koncentracije u vrtićima (1) i školama (2), a desetogodišnje sezonske varijacije radona kontinuirano su praćene na tipičnim stambenim lokacijama (Blokcentar, Retfala, Tiborjanci). Obiteljska kuća u Retfali imala je u dnevnoj sobi u prizemlju koncentraciju radona od  $96 \text{ Bq/m}^3$ , dok je relativni odnos radona ( $c_0$ ) na prvom katu, prizemlju i podrumu bio:  $0,85 : 1,00 : 1,70$  (3). Na otvorenom, na visini 1 m iznad tla  $c_0$  je bio  $15 \text{ Bq/m}^3$  (u vrtu iste kuće). U sezoni grijanja u kući (listopad-ožujak) radonska koncentracija je bila za faktor 1,5 veća nego u razdoblju bez grijanja. Radonske koncentracije izmjerene pomoću detektora Radhome u osječkim vrtićima i osnovnim školama imale su pripadne aritmetičke sredine  $59 \text{ Bq/m}^3$  i  $93 \text{ Bq/m}^3$ .

### MATERIJAL I METODE

Kontinuirana mjerenja radona u zraku, u trajanju od 2 do 6 mjeseci, izvedena su pomoću detektora nuklearnih tragova LR-115, proizvodnje Kodak-Pathé (Francuska), s cilindričnom posudom promjera 9,6 cm i visine 9 cm, na čijem dnu je pričvršćen nitrocelulozni film veličine  $2 \times 3 \text{ cm}^2$ . Za mjerenje koncentracije radona, kao i ravnotežnog faktora za radon i potomke, korištena je metoda s otvorenim i difuznim detektorom (posuda zatvorena filter papirom), gdje polupropusna membrana zaustavlja radonove potomke, a propušta radon (4). Detektorski filmovi su jetkani u 10% vodenoj otopini NaOH, pri temperaturi od  $60^\circ\text{C}$  ( $333 \text{ K}$ ) u trajanju od 120 minuta. Tragovi alfa čestica na detektoru brojani su vizualno pomoću mikroskopa s povećanjem ( $10 \times 16$ ). Koeficijent osjetljivosti za difuzni detektor iznosio je  $28,7 \text{ Bq m}^{-3} / \text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , a osnovno zračenje bilo je  $90 \text{ tr cm}^{-2}$ .

Za mjerenje radona u zemlji odn. u tlu na dubini od 0,5 m korišten je emanator vlastite izvedbe s cilindričnom plastičnom posudom promjera 6,4 cm i visine 7,4 cm, na čijem dnu je pričvršćen detektorski film LR-115, kao gore, uz jednaku obradu. Posuda je zatvorena filter papirom i plastičnom mrežom (mehanička zaštita), u nastavku je spojena s ispunjenim valjkastim nosačem duljine 29,3 cm, a sve je smješteno u aluminijski cilindar duljine 50 cm, promjera 8 cm, tako da valjkasti nosač prijanja uz cilindar i zatvara dodir s atmosferom.

Cilindar emanatora se postavlja okomito u pripremljenu jamu, rupu u tlu s otvorom emanatora prema zemlji. Vrijeme izlaganja radonskog emanatora u zemlji je od nekoliko dana do nekoliko tjedana.

Silicijev poluvodički detektor Radhome (proizvodnje CEA, Francuska) radi u režimu od 100 impulsa i u vremenu do 36 sati; jedan impuls na sat odgovara koncentraciji radona od  $50 \text{ Bq m}^{-3}$ .

## RASPRAVA

U svrhu izrade radonskog zemljovida, sustavno su izmjerene radonske koncentracije u osječkim kućama. Koristeći gradski zemljovid s popisom ulica i kvadratičnim poljima veličine  $1 \times 1 \text{ km}^2$ , grad je podijeljen u 24 stambena polja, a iz svakog polja nasumce su odabrane po dvije kuće u kojima je zatim izmjerena radonska koncentracija u zraku u prizemnom stambenom prostoru (dnevna soba). Od stanara su dobiveni podatci o zgradi, odn. o podrumu i broju katova, zatim o starosti kuće, te vrsti zida i poda. Po dva detektora LR-115 (difuzni i otvoreni) izlagani su dva mjeseca, u svibnju i lipnju 1997., a poluvodički detektor Radhome izlagan je 24 sata u pojedine dane unutar navedenog razdoblja.

Dvomjesečna mjerenja radona s detektorima nuklearnih tragova dala su vrijednosti koncentracija u području od 23 do  $186 \text{ Bq m}^{-3}$ , kako je prikazano u razdiobi frekvencija po razredima veličine  $20 \text{ Bq m}^{-3}$ , Tablica 1. Aritmetička sredina iznosila je  $71,6 \text{ Bq m}^{-3}$ , pripadna standardna devijacija bila je  $44,0 \text{ Bq m}^{-3}$ , dok je geometrijska sredina iznosila  $60,1 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Tablica 1. Razdioba frekvencija (f) po razredima za radonske koncentracije u osječkim kućama.

Redni broj razreda	Razred	Razredna sredina	f
1	20-39,9	30	13
2	40-59,9	50	14
3	60-79,9	70	7
4	80-99,9	90	2
5	100-119,9	110	4
6	120-139,9	130	1
7	140-159,9	150	4
8	160-179,9	170	3

48

Radonske koncentracije izmjerene poluvodičkim detektorom Radhome na istim lokacijama kao gore imale su vrijednosti u području od 19 do  $197 \text{ Bq m}^{-3}$ , te

pripadnu aritmetičku sredinu  $57,7 \text{ Bq m}^{-3}$ , standardnu devijaciju oko aritmetičke sredine  $35,7 \text{ Bq m}^{-3}$  i geometrijsku sredinu  $49,9 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Statistički t-test pokazao je na razini signifikantnosti od 5 % da nema značajne razlike između aritmetičkih sredina za radon izmjeren pomoću detektora LR-115 i Radhome ( $t = 1,68 < t_{0,05} = 1,986$ ). Ispitivanje  $\chi^2$ -testom pokazalo je da empiričke frekvencije radonskih koncentracija iz Tablice 1. pripadaju logaritamsko-normalnoj razdiobi ( $\chi^2 = 7,7 < \chi^2_{0,05} = 7,8$ ; za tri stupnja slobode).

Na Slici 1. prikazane su kružićem (o) lokacije stanova (kuća) u kojima je izmjeren radon na gore opisani način, a pored kružića dopisan je pripadni redni broj razreda iz empiričke razdiobe u Tablici 1., tako da broju 1 pripada radonska koncentracija 30 (razredna sredina), broju 2 pripada koncentracija 50, itd. do 8, kojemu pripada razredna sredina od  $170 \text{ Bq m}^{-3}$ . Oznaka plus (+) iza navedenog broja razreda pokazuje da je mjerenje radona izvedeno u prizemlju kuće koja ima podrum. Na istom radonskom zemljovidu za grad Osijek (Slika 1.) kvadratićem (□) su označene i lokacije osnovnih škola u kojima je izmjeren radon s koncentracijama označenima rednim brojem razreda kao u Tablici 1.

Glede radona u stanovima na zemljovidu je uočljivo područje viših radonskih koncentracija (VRK) u kućama koje se nalaze u polju X. te u susjednim južnim dijelovima XVI., XVII. i XVIII. polja. U navedenom VRK području nalazi se Tvrđa (barokna cjelina građena početkom 18. stoljeća), istočni dio Gornjeg grada (promatrane kuće imaju starost od 50 do 100 godina), Sjenjak (građen prije 20 godina) i sjeverni dio Juga I (starost kuća oko 20 godina). Kako je navedeno, promatrane lokacije imaju vrlo različite starosti gradnje, ali statistički nije ustanovljena značajna korelacija između radonske koncentracije i starosti kuća (ranija istraživanja u osječkim školama pokazala su pozitivnu korelaciju između radona i starosti gradnje (2)). Prosjek razrednih sredina za VRK područje bio je  $155,8 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Područje niske radonske koncentracije (NRK) zapaža se u I., II., III. i IV. polju, koja su susjedna polja u prigradskom naselju Višnjevac. Starost gradnje je oko 15 godina, kuće su prizemnice i većinom bez podruma. Prosjek razrednih sredina za NRK područje bio je  $37,6 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Velika razlika između srednjaka razrednih sredina za radonske koncentracije promatranih područja VRK i NRK pokazala se statistički značajnom, što je potvrdio pripadni t-test ( $t = 17,9 < t_{0,05} = 2,16$ , za 13 stupnjeva slobode).

Značajnu razliku između radonskih koncentracija u područjima VRK i NRK nije bilo moguće drugačije obrazložiti nego razlikom u geološkoj strukturi tla, koje najviše doprinosi aktivnosti radona u zraku u kućama (2, 5). Takvu pretpostavku valjalo je i eksperimentalno provjeriti, pa su u tu svrhu izlagani radonski emanatori u tlu na dubini od 0,5 m u trajanju od dva tjedna. U XVII. polju (Vukovarska ulica), u blizini lokacije (o7+), koja pripada VRK području, radonska koncentracija u tlu (u zemnom plinu) bila je  $14,062 \text{ kBq m}^{-3}$ , dok je u II. polju (Višnjevac) u vrtu istočne lokacije (o1+) emanator pokazao znatno manju

radonsku koncentraciju,  $4,691 \text{ kBq m}^{-3}$ , čime je opravdana pretpostavka da tlo u VRK području sadrži više radona, što je onda uzrok povećanoj radonskoj razini u kućama navedenog gradskog područja.

Mjerenje radona u tlu izvedeno je i u dvorištu osnovne škole (VIII. polje, lokacija ( $\square > 8$ )), koja je imala najveću koncentraciju radona u zraku ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ), uzimajući u obzir sva ranija mjerenja radona u osječkim kućama, tj. u stanovima, podrumima, školama i vrtićima. U tlu pored navedene škole izmjeren je radon od  $18,785 \text{ kBq m}^{-3}$ , što je najveća izmjerena koncentracija u Osijeku i što potvrđuje povezanost odn. korelaciju radonskih koncentracija u tlu i u kućama.

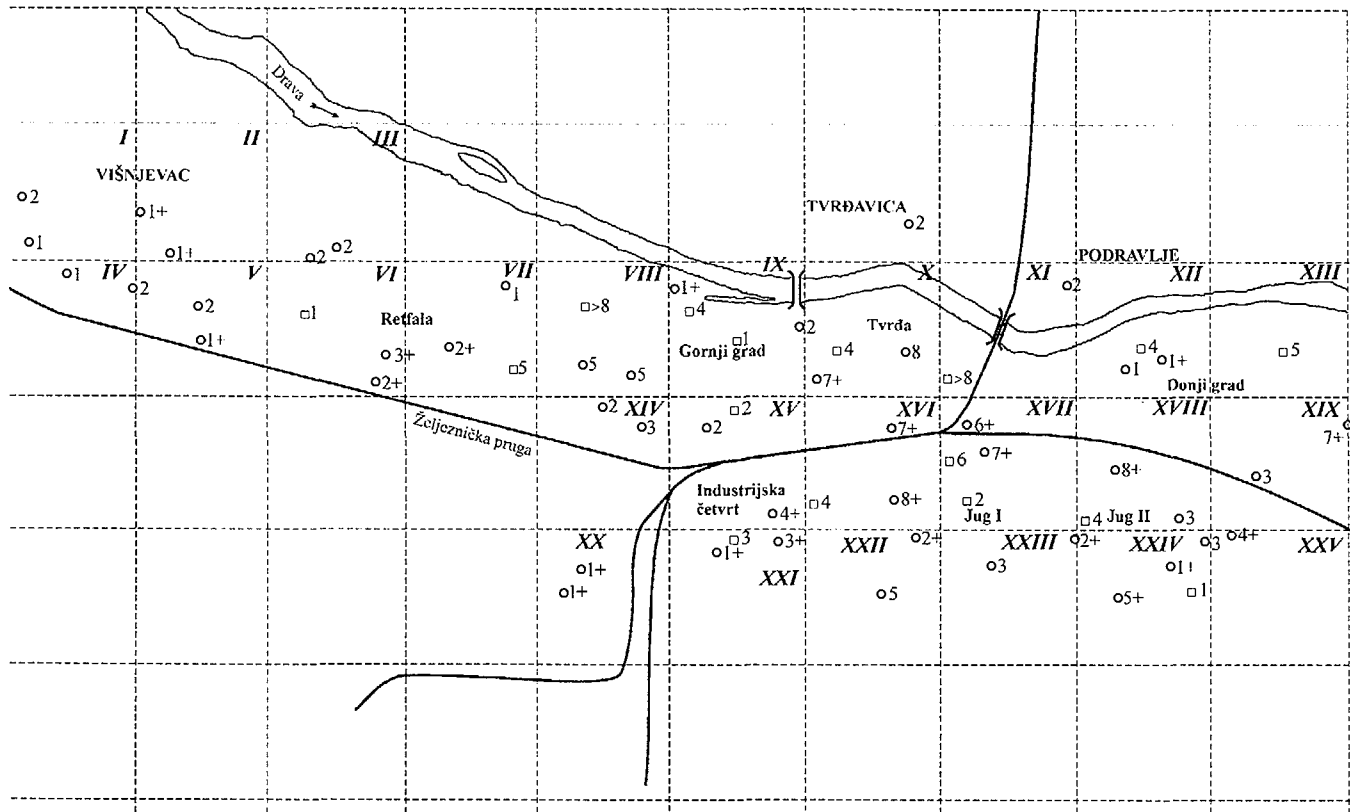
U istoj školi istražena je distribucija radona u prostorijama cijele jednokatne zgrade te je ustanovljena najveća koncentracija u prizemnoj učionici KB ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Na zidovima i podu učionice zapaženi su veći otvori odn. rupe uz kanalizacijske i radijatorske cijevi, a ispod podnog parketa južnog dijela učionice prokopan je u zemlji kanal dubine i širine  $0,5 \text{ m}$  u koji su položene cijevi centralnog grijanja. U svrhu smanjenja radonske razine u učionici ( $200 \text{ Bq m}^{-3}$  je dozvoljena radonska razina u postojećim kućama za većinu europskih država), u tijeku su postupci zatvaranja rupa u zidu i podu, a ispitat će se i mogućnost prekrivanja parketa nepropusnom plastičnom folijom, kao i korištenje ventilacije za odvođenje zemnog plina ispod poda učionice.

## ZAKLJUČAK

Sustavnim mjerenjem radona u stanovima i školama pomoću detektora nuklearnih tragova LR-115 izrađen je radonski zemljovid za grad Osijek. U područjima grada s višom i nižom radonskom koncentracijom u kućama, izvedena su posebna mjerenja radona u tlu pomoću emanatora vlastite izrade, te je ustanovljena pozitivna korelacija između radona u tlu i kućama. Posebno je istražena distribucija radona u prostorijama osnovne škole s najvišom radonskom razinom ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ) te su predloženi postupci za njeno smanjenje.

## POPIS LITERATURE

1. Planinić J, Vaupotič J, Kobal I. Indoor radon concentrations in kindergartens. *J. Environ. Radioactivity* 1993;19:167-171.
2. Planinić J, Faj Z, Šuveljak B, Radolić V, Vaupotič J, Kobal I. Radon in schools and dwellings of Osijek. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*. 1995;191:45-51.
3. Planinić J, Šuveljak B, Faj Z. Radon distribution in dwellings. *J. Radioil. Protec.* 1994;14:235-239.
4. Planinić J, Faj Z. Equilibrium factor and dosimetry of Rn by nuclear track detector. *Health Phys.* 1990;59:349-351.
5. Nazaroff W.W, Nero A.V. Radon and its decay products in indoor air. New York, John Wiley and Sons, 1988.



Slika 1. Radonski zemljovid za grad Osijek; uz lokaciju kuće u kojoj je izmjeren radon (o) zapisan je i redni broj razreda po rastućim radonskim koncentracijama prikazanim u Tablici 1.; oznaka (+) iza broja razreda pokazuje da kuća ima podrum, a rimski broj označuje redni broj polja. Kvadratići (□) označuju lokacije osnovnih škola.

## **RADON MAPPING OF THE OSIJEK TOWN**

*Vanja RADOLIĆ, Zdravko FAJ, Goran ŠMIT, Dominika ČULO, Josip PLANINIĆ*

University of Osijek, Faculty of Education, P.O.Box 144, Osijek

### **ABSTRACT**

After ten years investigation of radon seasonal variations at three very different locations, as well as radon concentration measurements in kindergartens and schools, systematical indoor radon measurements were undertaken in dwellings of Osijek. Indoor radon was measured by means of the LR-115 nuclear track detector at 48 town locations that gave the arithmetic mean of  $71.6 \text{ Bq m}^{-3}$ , standard deviation of  $44.0 \text{ Bq m}^{-3}$  and geometric mean of  $60.1 \text{ Bq m}^{-3}$ , for the radon concentration range from 23 to  $186 \text{ Bq m}^{-3}$ . The empirical frequency distribution of radon concentrations, with the class width of  $20 \text{ Bq m}^{-3}$ , was in accordance with the theoretical log-normal distribution which was shown with  $\chi^2$ -test.

The radon map pointed out a region of higher radon concentrations (central part of the town) that was ascribed to the geological soil structure. Thus supposition was confirmed by radon measurement in the soil gas using radon emanators with the LR-115 film that showed the positive correlation between radon concentrations in the soil and indoors.

Radon measurements in Osijek's primary schools pointed out a school that had the highest radon concentration ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ) considering all the former indoor radon measurements. The radon distribution in the school building was investigated afterwards radon mitigation procedures were undertaken.