

ЦРНОГОРСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ
ГЛАСНИК ОДЈЕЉЕЊА ПРИРОДНИХ НАУКА, 12, 1998.

ЧЕРНОГОРСКАЈА АКАДЕМИЈА НАУК И ИСКУССТВ
ГЛАСНИК ОДДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, 12, 1998.

THE MONTENEGRIN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS
GLASNIK OF THE SECTION OF NATURAL SCIENCES, 12, 1998.

UDK: 504.75:546.296(497.16 Podgorica)

*P. Vukotić, S. Dapčević, N. Saveljić, I. Pićurić, N. Antović¹
V. V. Uvarov, V. M. Kulakov²
R. Mrdak³
M. Mirković, M. Pajović, R. Svrkota⁴*

RADON U ZGRADAMA U PODGORICI U ZIMSKOM PERIODU

I z v o d

Koncentracije radona u vazduhu u zgradama u Podgorici mjerene su integralnom metodom u zimskom periodu 1994/95. godine. Korišćen je pasivni radiometar sa nitroceluloznim detektorom α -čestica. Mjerenja su urađena u 110 zgrada, u stambenim ili radnim prostorijama u prizemlju. Raspodjela izmjerenih koncentracija radona je log-normalna. Opseg ekvivalentnih ravnotežnih koncentracija je (4 – 453) Bq/m³, a medijana 26. 4 Bq/m³. Maksimalne koncentracije, kao i najveće prosječne koncentracije radona u vazduhu (medijana 44. 5 Bq/m³), nađene su u individualnim stambenim zgradama od opeke. Najniže su koncentracije radona (medijana 16. 6 Bq/m³) u višespratnim zgradama od betona i opeke, sa malterisanim zidovima.

¹ Prirodno-matematički fakultet, 81000 Podgorica

² Ruski naučni centar „Kurčatovski institut”, Moskva, Rusija

³ Građevinski fakultet, 81000 Podgorica

⁴ Republički zavod za geološka istraživanja, 81000 Podgorica

INDOOR RADON LEVELS IN THE TOWN OF PODGORICA IN WINTER SEASON

A b s t r a c t

Radon indoor concentrations are measured in the town of Podgorica in the winter season 1994/95. Integral method, with etched track detectors is used. Measurements are performed in 110 dwellings, mainly on ground floors. Log-normal distribution of radon indoor concentrations is found. Equivalent equilibrium concentrations range from 4 to 453 Bq/m³, with the median value 26.4 Bq/m³. Maximal concentrations, as well as the highest average radon indoor concentrations (median value 44.5 Bq/m³) are found in detached family houses, built of bricks. The lowest concentrations (median value 16.6 Bq/m³) belong to multistoried apartment houses, made of concrete and bricks, with mortar on the walls.

UVOD

Radon je inertan radioaktivni gas. Potiče iz prirodnih nizova radioaktivnog raspada. Njegovi najznačajniji izotopi su ²²²Rn iz uran-radijumskog i ²²⁰Rn iz torijumskog niza. Oba su α -emiteri. Udisanje kratkoživućih produkata raspada radona učestvuje sa oko 50 % u efektivnoj ekvivalentnoj dozi koju čovjek prima od svih prirodnih izvora radijacije. Ta doza, pod određenim uslovima, može predstavljati opasnost po zdravlje čovjeka. Posljednjih godina se zato intenzivno proučavaju radon i produkti njegovog raspada u vazduhu stambenih i radnih prostora, gdje čovjek u prosjeku provodi 80 % svoga vremena (UNSCEAR, 1988; Nikezić, 1995).

Osnovni izvori radona u vazduhu u zatvorenom prostoru su tlo ispod zgrade i materijal od kojeg je zgrada napravljena. Ukoliko je sadržaj urana i torijuma u njima veći, očekuje se i veća koncentracija radona u vazduhu. Koncentracija radona u višespratnim zgradama opada sa visinom, najbrže između podruma, prizemlja i prvog sprata. Slabo provjetranje prostorija, zbog energetskih i drugih razloga, čini da se u vazduhu u njima nakupljaju radon i njegovi produkti raspada, tako da im je koncentracija mnogostruko veća nego u atmosferskom vazduhu. Srednja godišnja ekvivalentna ravnotežna koncentracija (ERK) radona u atmosferskom vazduhu, na visini 1 m iznad zemlje, prosječno u svijetu je 5 Bq/m³, dok je ona u stanovima na umjerenim geografskim širinama prosječno 20 Bq/m³. U zemljama Evrope, vrijednost medijane za ERK radona u vazduhu stambenih prostorija kreće se u dijapazonu od 4 Bq/m³ (Poljska) do 30 Bq/m³ (Švedska i Švajcarska). Pojedinačna mjerenja pokazuju nivo i od nekoliko

stotina Bq/m³, a u rjeđim slučajevima nivo od nekoliko hiljada Bq/m³ (UNSCEAR, 1988, str. 133, 159 i 161).

U Jugoslaviji ne postoje norme za koncentracije radona u vazduhu u stambenim i radnim prostorijama. Preporuka Međunarodne komisije za radiološku zaštitu je da koncentracija radona u ravnoteži sa potomcima u vazduhu ne bi smjela da bude veća od 400 Bq/m³ u već postojećim zgradama i 200 Bq/m³ u novogradnji (ICRP, 1987). Međutim, sada važeći propisi većine razvijenih zemalja u tom pogledu su još stroži. Za već postojeće zgrade najčešće se dozvoljava od 80 Bq/m³ (SAD) do 200 Bq/m³ (Njemačka, Engleska, Rusija), a za buduću gradnju 100 Bq/m³, ili čak i manje (Sanitarnie pravila, 1993).

Krajem 1994. godine, u Međunarodnom naučnom centru za ekologiju i zdravlje čovjeka – Podgorica, započet je opsežan projekat istraživanja radona u Podgorici. Prvi rezultati za radon u zgradama, dobijeni ekspresnom metodom (Uvarov i dr., 1997), kao i za radon u zemljištu (Vukotić i dr., 1997), već su publikovani u Glasniku OPN, broj 11, 1997. U ovom radu biće prikazani rezultati mjerenja koncentracija radona u vazduhu u zgradama u Podgorici, integralnora metodom, tokom zimske sezone 1994/95. godine.

GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA I TIPOVI ZGRADA U PODGORICI

Područje Podgorice u osnovi je izgrađeno od karbonatnih sedimenata – slojevitih i bankovitih krečnjaka sa rjeđim proslojcima dolomitisanih krečnjaka gornje krede. Na površini su otkriveni na brdu Ljubović, na zapadnim padinama Kakaricke gore, na brdu Gorica, na južnim padinama Malog i Veljeg brda i kod Dvorca na Kruševcu. Slojevi i banci sedimenata gornje krede ispresijecani su poprečnim rasjedima sa malim skokovima i čestim pukotinama.

U uzorcima gornjokrednih krečnjaka Crne Gore nađene su koncentracije urana 1.2 µg/g i vrlo niske koncentracije torijuma 0.06 µg/g (Boreli i dr., 1983).

Preko sedimenata gornje krede leže glaciofluvijalni – terasni sedimenti. To su šljunkovi i slabije vezani konglomerati sa tanjim proslojcima i sočivima pjeskova. Izgrađeni su najvećim dijelom od zrna i valutaka krečnjaka i dolomita, a manjim od vulkanita, pješčara i rožnaca. Debljina im iznosi do 30 m. Najveći dio naselja Podgorice leži na ovim sedimentima.

U gradskom rejonu, kao i na širem području Zetske ravnice, najčešće je prisutno smeđe zemljište. U 95 proba sa dubine do 20 cm, konstatovan je sadržaj urana do 5 µg/g i srednji sadržaj torijuma 11 µg/g (Pirc i dr., 1991). Na širem području grada urađeno je krajem 1994. godine 67 mjere-

nja radona u zemljištu, na dubini (60-80) cm (Vukotić i dr., 1997). Medijska koncentracija radona je 34.2 kBq/m^3 , a opseg izmjerenih vrijednosti ($6 - 86$) kBq/m^3 .

Za izgradnju stambenih objekata u Podgorici karakteristična su dva perioda: prvi, do 1950. god., kada su građeni manji prizemni i jednospratni objekti od lokalnih prirodnih materijala, kamena i drveta, i drugi period, od 1950. god., kada su građeni višespratni objekti, sa velikim brojem stanova, od armiranog betona i individualni stambeni objekti od betona u kombinaciji sa proizvodima na bazi pečene gline. Osnovni građevinski materijali za ove objekte su kamen, drvo, cement, kreč i proizvodi na bazi pečene gline. Kamen je iz majdana u okolini Podgorice i iz korita rijeka Morače i Cijevne. Majdani su sedimentne krečnjačke stijene. Kamen se upotrebljava za zidanje, ili kao agregat za spravljanje betona i maltera. Drvo se upotrebljava za tavanice, krovnu konstrukciju i izradu stolarije. Porijeklo mu je sa različitih područja. Cement i kreč su proizvedeni na Kosovu, u Dalmaciji, Pljevljima i u okolini Beograda. Glineni proizvodi: opeka, blokovi, crijep i blokovi za formiranje tavanica, proizvedeni su pretežno u Vojvodini. Učešće ostalih materijala u gradnji stambenih objekata u Podgorici je malo i zato što je na njenom području slabo razvijena proizvodnja građevinskih materijala.

Za potrebe mjerenja koncentracija radona zgrade su razvrstane u četiri karakteristična tipa. Tipovi su određeni na bazi materijala od kojeg su urađeni zidovi, tavanice, krovovi i obrada zidova i tavanica, kao i prema veličini objekata:

Tip 1. *Višespratne zgrade od zidnih platna.*

Zidovi i tavanice su od armiranog betona. Pregradni zidovi su od opeke ili siporeksa. Zidovi i tavanice su po pravilu samo gletovani.

Tip 2. *Višespratne skeletne zgrade.*

Stubovi i tavanice su od armiranog betona. Ispuna skeleta je od opeke, a pregradni zidovi su od opeke ili siporeksa. Tavanice su samo gletovane, a zidovi su malterisani produžnim malterom debljine 1,5 cm.

Tip 3. *Individualne stambene zgrade od kamena.*

Zidovi su od kamena. Tavanice i krovna konstrukcija su od drveta. Krovni pokrivač je od crijepa. Za malterisanje zidova i tavanica korišćen je krečni malter debljine oko 2 cm.

Tip 4. *Individualne stambene zgrade od opeke.*

Zidovi su od opeke, ili od šupljih blokova. Tavanice su od armiranog betona, ili od kombinacije betona i šupljih blokova. Krovna konstrukcija je od drveta, a krovni pokrivač od crijepa. Malter zidova i plafona je produžni.

INTEGRALNA METODA MJERENJA RADONA

Koncentracija radona u vazduhu u zgradama mjerena je pasivnim radiometrom, proizvedenim u Istraživačkom centru za radijacionu bezbjednost kosmičkih brodova u Moskvi.

Difuziona komora je od plastike i cilindričnog je oblika, dužine 11.5 cm i prečnika 3.5 cm. Dva nitrocelulozna detektora (NCD) α -čestica postavljena su u centralnom dijelu komore i fiksirana držačima. Radon prodire u komoru duž navoja između zida i poklopca komore. Korišćeni NCD je takođe ruske proizvodnje: tip K-8, debljina 13 μm , gustina (1.49 ± 0.01) g/cm^3 .

Ekspozirani detektori su nagrizani 90 minuta u 5 N NaOH rastvoru na 50 °C. Ovo vrijeme nagrizanja usvojeno je zbog dobre standardne devijacije rezultata očitavanja (ispod 20 %) i zadovoljavajućeg bekgrounda (30 ± 15) trag/cm^2 . NCD je kalibrisan izvorima ^{239}Pu i ^{226}Ra . Tragovi se očitavaju brojačem iskri (Uvarov i dr., 1995).

Radiometar je kalibrisan u radonskoj komori (zapremina komore 0.5 m^3 ; ruda urana kao izvor radona; srednja aktivnost radona 5 kBq/m^3 , mjerena scintilacionim ZnS detektorom). Osjetljivost radiometra je (2.8 ± 0.8) (trag/cm^2)/($\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) za donji detektor, a (3.4 ± 0.8) (trag/cm^2)/($\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) za gornji detektor. Vrijeme ekspozicije detektora određuje se prema nivou koncentracije radona. Za koncentracije radona iz opsega (70 – 20) kBq/m^3 preporučuje se mjerenje u trajanju od 3 dana, za koncentracije (20 – 6.5) kBq/m^3 mjerenje tokom 10 dana i za koncentracije (1000 – 2) Bq/m^3 ekspozicija detektora u trajanju od 100 dana. Prosječna greška mjerenja radona korišćenim radiometrom i opisanom metodom je 50 % za koncentracije radona iz opsega (2 – 20) Bq/m^3 , odnosno 25 % za koncentracije (20 – 20000) Bq/m^3 .

Ekspozicija detektora u zgradama u Podgorici trajala je (65 – 120) dana (pretežno 95 dana), u periodu od početka decembra 1994. do kraja marta 1995. godine.

Mjerenja su vršena u prostorijama u prizemlju, odnosno visokom prizemlju. Detektori su postavljeni u dnevnoj sobi, odnosno kancelariji, na pogodnom mjestu na visini (1.5 – 2) m od poda.

REZULTATI MJERENJA

U Tabeli 1 prikazane su osnovne karakteristike rezultata mjerenja radona u vazduhu u stambenim i radnim prostorijama u Podgorici, po tipovima zgrada i ukupno. Rezultati su dati u vidu ekvivalentnih ravnotežnih koncentracija ERK radona. Koeficijent ravnoteže radona sa produktima njegovog raspada nije mjereno, već je usvojena njegova vrijednost od 0.5.

Histogrami izmjerenih koncentracija radona u vazduhu stambenih i poslovnih prostorija, ukupno i po tipovima zgrada, prikazani su na slikama 1 do 5.

U literaturi postoje podaci o mjerenjima radona u stanovima u mnogim zemljama svijeta, urađenim radi proučavanja nivoa ozračenosti stanovništva. Obično su mjerenja vršena u više od 100 stanova. U svim slučajevima se koncentracije radona i njegovih potomaka aproksimiraju log-normalnom raspodjelom (Brownlee, 1965), a geometrijska standardna devijacija (Jastremski, 1961) obično leži u intervalu 1.6 do 5.2 Bq/m³. U prosjeku je koncentracija radona u individualnim stambenim objektima veća nego u višespratnim zgradama, jer je nivo koncentracije radona u prvim uglavnom uslovljen dotokom radona iz tla, a u drugim ekshalacijom radona iz građevinskog materijala.

Tabela 1. Koncentracije radona u vazduhu u zgradama u Podgorici, u zimskom periodu 1994/1995. godine.

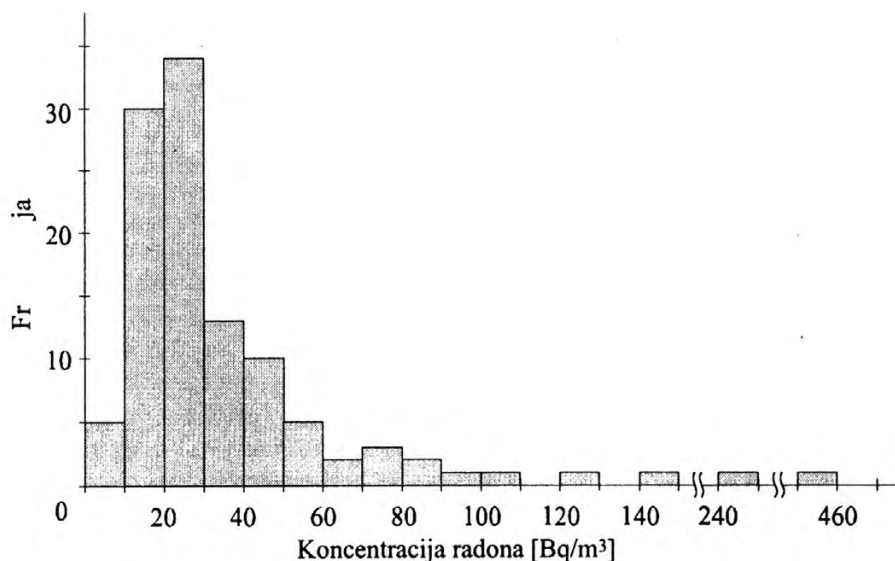
Tip zgrade	Broj mjerenja	Opseg izmjerenih ERK radona (Bq/m ³)	Medijana izmjerenih ERK radona (Bq/m ³)	Aritmetička sredina izmjerenih ERK radona (Bq/m ³)
1	36	4 – 58	24.2	25.4
2	14	6 – 24	16.6	15.7
3	27	10 – 88	25.1	30.9
4	33	14 – 453	44.5	69.5
svi tipovi zgrada	110	4 – 453	26.4	38.7

Rezultati naših mjerenja radona u Podgorici saglasni su sa onima dobijenim u drugim zemljama Evrope. Raspodjela rezultata naših mjerenja, prikazana histogramom na Sl. 1, prema χ^2 -testu odgovara log-normalnoj raspodjeli: $t=6.13 < \chi_4^2(0.95)=9.49$ (Green i Margerison, 1978). Geometrijska srednja vrijednost ERK radona je 21.8 Bq/m³, a geometrijska standardna devijacija 2.20 Bq/m³. Medijana ERK radona je 26.4 Bq/m³ i neznatno je veća od prosječne za zemlje na umjerenim geografskim širinama (20 Bq/m³). ERK iznad najstrožih svjetskih normativa (100 Bq/m³) zastupljene su kod naših mjerenja radona u Podgorici sa 4.5 %, a iznad normativa koji su za staru gradnju u primjeni kod većine zemalja u Evropi (200 Bq/m³) sa 1.8 %. Svih ovih 5 slučajeva maksimalnih izmjerenih „indoor” koncentracija radona, koje su iznad svjetskih normativa, pripadaju zgradama tipa 4.

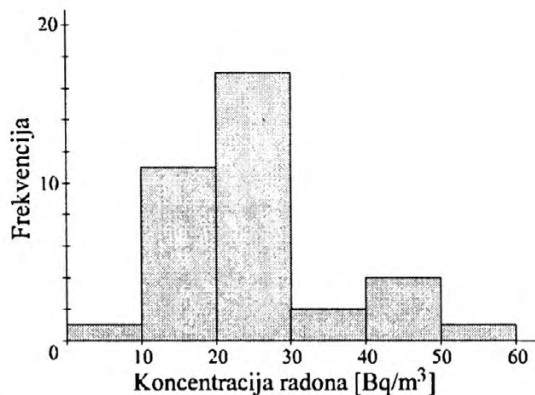
Zgrade tipa 4, tj. individualne stambene zgrade (vidi Sl. 5. i Tabelu 1.), imaju osjetno najveću i medijanu (44.5 Bq/m³) i srednju aritmetičku vrijednost (69.5 Bq/m³) koncentracija radona u vazduhu od svih tipova zgrada u Podgorici. Vjerujemo da je uzrok tome povećan dotok radona iz

tla u vazduh u ovim zgradama, nastao zbog toga što gradnja ovih objekata u prosjeku nije tako kvalitetna kao kod višespratnih zgrada. Smanjena debljina podnih, posebno temeljnih, betonskih ploča i pukotine u njima mogu višestruko povećati prodiranje radona iz tla u zgrade.

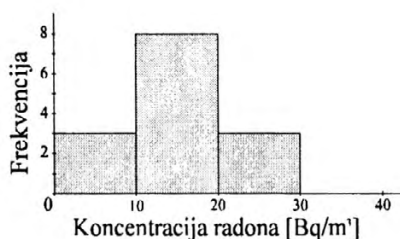
Iako je urađen relativno mali broj mjerenja u zgradama tipa 2, ipak se iz Tabele 1 i Sl. 3 vidi da su koncentracije radona u vazduhu u njima značajno najmanje (medijana 16.6 Bq/m^3 i srednja vrijednost 15.7 Bq/m^3). Osjetno su manje nego i kod višespratnica drugačijeg tipa, tj. tipa 1 (medijana 24.2 Bq/m^3 , srednja vrijednost 25.4 Bq/m^3). Pošto se radi o višespratnicama, razlike u nivoima radona u vazduhu u njima očigledno potiču od njihovih konstruktivnih različitosti, odnosno različitog korišćenog građevinskog materijala. Smatramo da ima osnova hipoteza da bitan uticaj tu ima odsustvo maltera na zidovima zgrada tipa 1 i njegovo prisustvo u zgradama tipa 2. Ovo stoga što je brzina ekshalacije radona po jedinici mase veća kod betona nego kod crijepa, iako crijep ima veću specifičnu aktivnost ^{226}Ra nego beton (UNSCEAR, 1988, str. 141 i 217) i radi toga što produžni malter ima višestruko manju specifičnu aktivnost ^{226}Ra nego beton ili crijep (Bikit i dr., 1995), a α -raspadom ^{226}Ra dobija se ^{222}Rn .



Sl. 1. Raspodjela izmjerenih ERK radona u zgradama u Podgorici

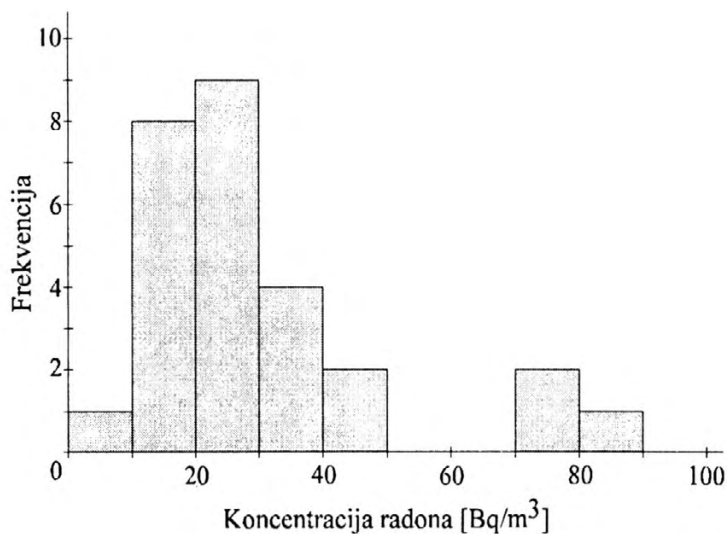


Sl. 2. Raspodjela izmjerenih ERK radona u zgradama tipa 1

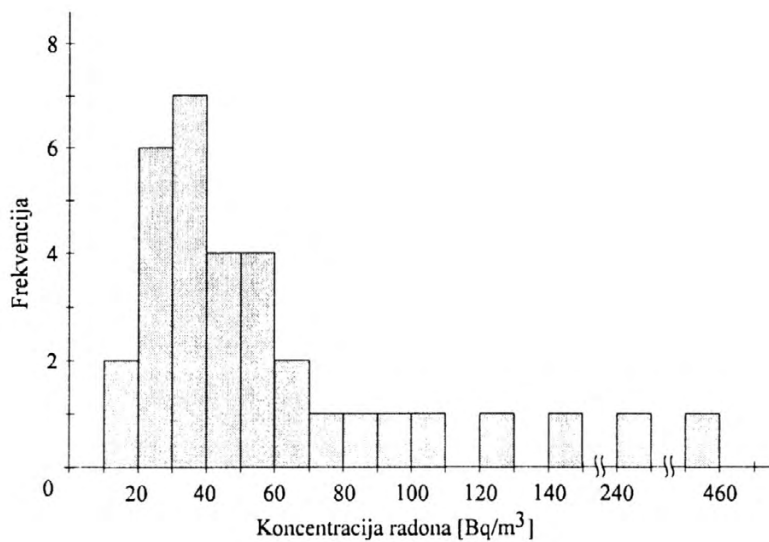


Sl. 3. Raspodjela izmjerenih ERK radona u zgradama tipa 2

U zgradama izgrađenim od kamena, kakve su individualne stambene zgrade tipa 3, obično je jačina ekspozicione doze γ -zračenja veća nego u zgradama od betona ili crijepa (Marković i dr., 1987), pa smo očekivali u njima i povećane koncentracije radona u vazduhu. No većina tih starih zgrada je rekonstruisana i preko kamenih zidova je nanesen deblji sloj krečnog maltera, što je vjerovatno razlog da nivoi radona u njima nijesu visoki i njihove prosječne vrijednosti slične su onima u betonskim nemalterisanim višespratnicama tipa 1 (vidjeti Tabelu 1 i Sl. 4).



Sl. 4. Raspodjela izmjerenih ERK radona u zgradama tipa 3



Sl. 5. Raspodjela izmjerenih ERK radona u zgradama tipa 4

Pri razmatranju navedenih rezultata treba imati u vidu da oni ustvari predstavljaju maksimalne „indoor” koncentracije radona tokom godine, jer su mjerenja obavljena u zimskom periodu kada su zbog potreba grijanja prostorije dugotrajno i dobro zaptivene, sa rijetkim otvaranjem prozora i provjetravanjem. Kako je uz to radon mjereno u prostorijama u prizemlju, gdje su njegove koncentracije u vazduhu u zgradi daleko najveće, radi se ustvari o maksimalnim nivoima radona kojima u normalnim uslovima mogu biti izloženi stanovnici Podgorice. Nivo ozračavanja stanovništva radonom treba, naravno, procjenjivati u realnim, a ne ekstremnim uslovima. U tom cilju neophodno će biti izmjeriti i ljetne nivoe radona i uzeti u obzir strukturu stambenog fonda grada po tipovima zgrada, kao i procentualnu nastanjenost po spratovima u Podgorici.

ZAKLJUČAK

Iz mjerenja radona u vazduhu 110 stambenih objekata u Podgorici i razmatranja dobijenih rezultata, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. – Raspodjela izmjerenih ekvivalentnih ravnotežnih koncentracija (ERK) radona je log-normalna, sa geometrijskom standardnom devijacijom 2.20 Bq/m^3 .

2. – Medijana ERK je 26.4 Bq/m^3 i neznatno je veća od prosječne za zemlje na umjerenim geografskim širinama. ERK iznad najstrožih svjetskih normativa nađene su u Podgorici u 4.5 % slučajeva, a iznad normativa koji su za staru gradnju u primjeni kod većine evropskih zemalja u 1.8 % slučajeva.

3. – Svi ovi slučajevi maksimalnih koncentracija radona, koje su iznad svjetskih normativa, pripadaju zgradama tipa 4, tj. individualnim stambenim objektima od opeke. Ove zgrade imaju najveće prosječne koncentracije radona u vazduhu. Pretpostavljamo da je razlog tome nekvalitetna gradnja, posebno betonskih temeljnih ploča.

4. – Najniže ERK radona su u zgradama tipa 2, tj. višespratnim skeletnim zgradama sa malterisanim zidovima. Pretpostavljamo da malter na zidovima smanjuje ekshalaciju radona iz betona, kamena ili opeke u vazduh prostorije.

ZAHVALNICA: Autori zahvaljuju Međunarodnom naučnom centru za ekologiju i zdravlje čovjeka „MENEKO” iz Podgorice i Opštini Podgorica na finansijskoj podršci Projektu istraživanja radona u Podgorici. Izražavamo zahvalnost i Aleksandru Dlabaču, studentu ETF u Podgorici, koji je uradio dijagrame prikazane u ovom radu.

LITERATURA

- Bikit I., Slivka J., Čonkić Lj., Krmar M. (1995): Istraživanje radioaktivnosti građevinskog materijala. Zbornik radova XVIII jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Bečići, 24-26 maj 1995, str. 249-252.
- Boreli F., Dragović D., Vukotić P., Vukčević L., Mardokić A. (1983): Ispitivanje radioaktivnih i rijetkih elemenata u rudama i stijenama Crne Gore. Završni izvještaj o radu na istraživačkom projektu, SIZ za naučne djelatnosti Crne Gore, str. 71.
- Brownlee K. A. (1965): *Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering*. John Willey & sons, New York.
- Green J. R., Margerison D. (1978): *Statistical Treatment of Experimental Data. Physical Sciences Data 2*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.
- ICRP (1987): Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. International Commission on Radiological Protection, Publication 50, New York, (prevod na ruski), str. 6-9.
- Jastremski B. S. (1961): Nekotore voprosi matematičeskoj statistiki. Gosstatizdat CSU SSSR, Moskva.
- Marković P., Nikezić D., Ristić Đ. (1987): Merenje jačine ekspozicione doze u zatvorenim prostorijama. Zbornik radova XIV jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Novi Sad, 8-11 jun 1987, str. 42-44.
- Nikezić D. (1995): Radon – glavni radioaktivni kontaminant čovjekove okoline. U monografiji Ionizujuća zračenja iz prirode, urednik M. Kovačević, izdavač Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd 1995, str. 145-190.
- Pirc S., Svrkota R., Pajović M. (1991): Regionalna geoheimijska istraživanja karbonatnih stijena u Jugoslaviji. Izvještaj za 1990/91 g., str. 150 (nepublikovani materijal).
- Sanitarnie pravila (1993): Sanitarnie pravila po ograničeniju oblučenija naselenija goroda Moskvi ot prirodnih istočnikov jonizirujuščih izlučenij v stroiteljnih materijalah. Moskovskij gorodskoj centr gosudarstvenogo sanitarno-epidemiologičeskogo nadzora, s. 10.
- UNSCEAR (1988): Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, (prevod na ruski), tom 1, str. 534.
- Uvarov V. V., Kulakov V. M. (1995): Use of Radiometer with Cellulose Nitrate Detector (CND) in Indoor Radon Measurements in Omsk, 1993. *Radiation Measurements*, 25: 587-590.
- Uvarov V. V., Kulakov V. M., Vukotić P., Dapčević S., Saveljić N., Pićurić I., Pajović M., Mirković M., Svrkota R., Mrdak R. (1997): Prvi rezultati mjerenja koncentracije radona u zgradama u Podgorici. *Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Glasnik Odjeljenja prirodnih nauka*, 11: 227-237.
- Vukotić P., Dapčević S., Saveljić N., Uvarov V. V., Kulakov V. M., Antović N., Pajović M., Svrkota R., Mirković M. (1997): Koncentracije radona u zemljištu Podgorice. *Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Glasnik Odjeljenja prirodnih nauka*, 11: 211-226.

*P. Vukotić, S. Dapčević, N. Saveljić, I. Pićurić,
V. V. Uvarov, V. M. Kulakov, R. Mrdak, M. Mirković,
M. Pajović, R. Svrkota, N. Antović*

INDOOR RADON LEVELS IN THE TOWN OF PODGORICA IN WINTER SEASON

S u m m a r y

In the winter season 1994/95, radon indoor concentrations in the town of Podgorica are measured using a Russian-made passive radiometer, with etched track detectors. Two cellulose nitrate detectors of K-8 type, 13 μm thick, with a density of (1.49 ± 0.01) g/cm^3 , are fixed in the central part of cylindrical diffusion chamber. Detectors are exposed 3 months, then etched for 90 min in 5N NaOH at 50 °C, and read out with a spark counter. The sensitivity of the radiometer is (2.8 ± 0.8) $(\text{tracks}/\text{cm}^2)/(\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3)$ for lower, and 3.4 ± 0.8 $(\text{tracks}/\text{cm}^2)/(\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3)$ for upper detector.

For indoor radon investigation purposes, the town houses were categorised in 4 distinct types, on basis of their construction characteristics and building material. Short survey of geological characteristics of the Podgorica region is also given.

Measurements were performed in 110 dwellings, mainly on ground floors. Detectors were located in living-rooms. Results are reported as equivalent equilibrium concentrations (EEC), using an equilibrium factor of 0.5. Obtained radon EEC-values span 4 to 453 Bq/m^3 range, and belong to a log-normal distribution, with geometric mean value 21.8 Bq/m^3 and geometric standard deviation 2.20 Bq/m^3 . The median value is 26.4 Bq/m^3 . Concentrations higher than 100 Bq/m^3 are found on five measurement sites, and two of them where higher than 200 Bq/m^3 .

The highest average radon levels (median value 44.5 Bq/m^3) are found in detached family houses, built of bricks, and the lowest (median value 16.6 Bq/m^3) in multistoried apartment houses, made of concrete and bricks, with mortar on the walls.