

ЦРНОГОРСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ  
ГЛАСНИК ОДЈЕЉЕЊА ПРИРОДНИХ НАУКА, 11, 1997.

ЧЕРНОГОРСКАЈА АКАДЕМИЈА НАУК И ИСКУССТВ  
ГЛАСНИК ОТДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, 11, 1997.

THE MONTENEGRIN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS  
GLASNIK OF SECTION OF NATURAL SCIENCES, 11, 1997.

---

UDK 504.53:546.296(497.16Podgorica)

**П. Вукотић, С. Дапчевић, Н. Савелић<sup>1</sup>**  
**В. В. Уваров, В. М. Кулаков<sup>2</sup> Н. Антовић<sup>3</sup>**  
**М. Пајовић, Р. Свркота, М. Мирковић<sup>4</sup>**

## **КОНЦЕНТРАЦИЈЕ РАДОНА У ЗЕМЉИШТУ ПОДГОРИЦЕ**

RADON CONCENTRATIONS IN SOIL OF THE TOWN PODGORICA

### Извод

У раду су приказани резултати истраживања нивоа радона у земљишту одређених подручја града Подгорице. За мјерење радона коришћен је пасивни радиометар, са нитроцелулозним детектором  $\alpha$ -честица. Детектори су постављани у земљиште на дубину 60-80 cm, затрпавани земљом и експонирани 5-14 дана. Урађено је 67 мјерења и резултати, укупни и по подручјима града, приказани су преко хистограма расподјеле фреквенција појављивања нивоа концентрације радона. Медијана свих резултата мјерења радона је  $34.2 \text{ kBq/m}^3$ , а њихова расподјела је готово симетрична. У дијелу града са појединачно

---

1. Природно-математички факултет, Универзитет Црне Горе, Подгорица, Југославија

2. Руски научни центар „Курчатовски институт“, Москва, Русија

3. Међународни научни центар за екологију и здравље човјека „МЕНЕКО“, Подгорица

4. Републички завод за геолошка истраживања, Подгорица

највећим измјереним „indoor“ активностима радона нађене су и његове највеће концентрације у земљишту. Истраживањем није утврђено, у асейзмичким условима, постојање повећаног нивоа концентрација радона у површинском слоју земљишта, директно изнад претпостављеног регионалног геолошког расједа на подручју града.

### Abstract

The investigation of soil radon level in some areas of the town Podgorica has been performed, and the results are presented in this paper. Radon is measured using the passive radiometer, with cellulose nitrate detector of  $\alpha$ -particles. Detectors are exposed in the soil during 5-14 days, at the depth 60-80 cm. In total 67 measurements are made. The results, for particular town areas and aggregate, are presented as histograms of frequency distributions of soil radon levels. Median of the overall radon measurements is  $34.2 \text{ kBq/m}^3$ . The highest soil radon level is found in the town area where the highest individual values of indoor radon concentrations were reported. An elevated radon level in the soil above the regional geological fault in the town region is not observed in this investigation, carried out in a non-seismic situation.

### УВОД

Оцјена, дата у извјештају UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) за 1982. г., да удисање краткоживећих продуката распада гаса радона (Rn) чини око 50% ефективне еквивалентне дозе коју човјек прима од свих природних извора зрачења, те да те дозе, под одређеним условима, могу представљати опасност по здравље људи, изазива и данас велику пажњу научних и стручних кругова у свијету и код нас (UNSCEAR, 1988; Никезић, 1995).

Радиоактивност чини радон штетним по здравље али и погодним за мјерење његових малих концентрација, генетска веза са U-238 чини га корисним у трагању за рудом урана, а хемијска инертност га чини корисним трасером геофизичких процеса који доводе до кретања гаса кроз земљу (предвиђање земљотреса и вулканских ерупција).

Радон је члан распада сва три природна радиоактивна низа. Најзначајнији његов радиоизотоп је Rn-222 који је  $\alpha$ -активан, са временом полураспада 3.8 дана, а добија се из низа распада U-238. Према томе, сви материјали који садрже уран су извори радона. Пошто

су атоми радона хемијски инертни, они дифундују кроз материјал у којем су створени и могу га напустити и доспјети у атмосферу. Радон је, дакле, природни састојак атмосфере.

Радон доспијева у атмосферу углавном из тла и то претежно (више од 80%) из његовог површинског слоја дебљине неколико метара. Зависно од врсте тла (садржаја урана у њему, гранулације, порозности и влажности тла), концентрација радона у њему је врло различита и на дубини 1 m може бити од 5 до изнад 1000 kBq/m<sup>3</sup> (UNSCEAR, 1988, стр. 216). Ексхалирајући са земљине површине у слободну атмосферу, радон се брзо расијава у њој под утицајем вертикалне конвекције и турбулентног мијешања, ради чега му се концентрација смањује. Међутим, када радон доспије у затворени простор („indoor“), на примјер стан, могу се остварити његове велике концентрације, које су готово обрнуто пропорционалне брзини вентилације дотичног простора.

Средња еквивалентна концентрација радона у равнотежи са његовим потомцима такозвана еквивалентна равнотежна концентрација, на висини 1 m изнад површине земље износи 4 Bq/m<sup>3</sup> (UNSCEAR, 1988, стр. 133). Средња еквивалентна равнотежна концентрација радона у становима, на умјереним географским ширинама, износи 20 Bq/m<sup>3</sup> (UNSCEAR, 1988, стр. 161).

Истраживања показују да су основни извори радона у становима тло испод стамбене зграде и грађевински материјал од којег је стан изграђен. Због специфичности стамбене градње и геолошке подлоге, у САД се тло испод зграде сматра основним узроком повећаних концентрација радона у зградама, а у Европи се знатна пажња поклања и грађевинском материјалу.

Дифузија је општи механизам преноса радона кроз тло. Због релативно кратког времена полураспада радона и вриједности дифузионе константе тла, домети преноса радона овим путем су ограничени на свега неколико метара, чак и у случају постојања уранове руде као извора радона. Међутим, конвекциони пренос радона вертикалним струјањем гаса кроз пукотине и каверне у тлу усљед разлике у притисцима, може имати домете и од неколико стотина метара. У сваком случају, постоји драстичан пораст концентрације радона у тлу са порастом дубине (Fleisher, 1981).

Мјерење концентрације радона у тлу је корисно средство у планирању и градњи стамбених и пословних објеката у циљу избјегавања високих „indoor“ нивоа радона, под условом да се мјерења коректно изводе и интерпретирају.

У оквиру Пројекта истраживања радона у Подгорици, поред мјерења „indoor“ концентрација радона, радили смо и мјерења радона у земљишту одређених подручја града. Овим мјерењима жељели смо сазнати:

- ниво концентрације радона у земљишту градског подручја;
- да ли су у близини дисконтинуитета у рељефу градског подручја (равница - брдо) повећане концентрације радона у земљишту. Ово ради тога што су проспекцијска „indoor“ мјерења запреминске активности Rn-222 у зградама у Подгорици, рађена експресном методом, показала повећане концентрације на појединим мјестима у таквим зонама (Уваров и др., 1995);
- да ли регионални геолошки расједи на подручју Подгорице, у асейзмичким условима, условљавају осјетно другачију концентрацију у површинском слоју земљишта директно изнад њих у односу на неки од сусједних локалитета.

Истраживања радона у тлу нијесу до сада рађена у Црној Гори.

## ГЕОЛОШКЕ И ТЕКТОНСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОДРУЧЈА ПОДГОРИЦЕ

Подручје града Подгорице и његове непосредне околине изграђују горњокредни карбонатни и глациофлувијални седименти квартарне старости. Карбонатни седименти представљени су слојевитим, ријетко и банковитим кречњацима а мање доломитима. Они изграђују сва морфолошка узвишења, као што су Веље и Мало брдо, Горица, Љубовић, Дајабаска гора, Зеленика и др. Квартарне наслаге налазе се у равничарском дијелу ових терена, а представљене су слабо везаним конгломератима и шљунковима, чија је укупна дебљина у подручју града обично 20-40 m. У бази глациофлувијалног наноса налазе се горњокредни кречњаци и доломити, од којих су изграђена поменута брда и узвишења.

Због сложене тектонске еволуције током палеогена, карбонатни седименти су убрани и поломљени, а још чешће израсиједани. Расједи су различите оријентације (СЗ-ЈИ, С-Ј, СИ-ЈЗ, а рјеђе и З-И) и граде неправилну структурну мрежу. Због покривености квартарним седиментима у равничарском дијелу овог подручја, расједи се једино могу претпоставити. На основу структурних и литостратиграфских карактеристика терена изграђених од горњокредних карбоната, са великом извјесношћу претпоставља се присуство два регионална расједа

(расједне зоне): између Зеленике и Вељег брда (Толошки расјед), затим расјед на правцу Коник - Маслине - мост Смоковац. Константовани расједи у кречњачким теренима Вељег и Малог брда, Зеленике, Бера, Горице и Дајабаске горе припадају групи расједа од локалног значаја. Такође се претпоставља да су наведени расједи повезани међусобно, као и са неотектонским дислокацијама Скадарске потолине, које су „одговорне“ и за бројне земљотресе у овом региону.

Горњокредне кречњаке и доломите карактерише и присуство бројних пукотина и каверни, тј. пукотинска порозност, за разлику од квартарних наслага са интергрануларном порозношћу. Ове двије групе стијена иначе се знатно разликују и по физичко-механичким особинама, односно инжењерско-геолошким карактеристикама.

У узорцима горњокредних кречњака Црне Горе нађене су концентрације урана  $1.2 \mu\text{g/g}$  и врло ниске концентрације торијума  $0.06 \mu\text{g/g}$  (Борели и др., 1983).

У површинском дијелу квартарних наслага од Горње Горице у правцу Марезе (Толошко поље) и Бера налазе се пјесковите глине дебљине 0.4-2.0 м, преко којих је развијен растресити хумусни слој.

У земљишту Подгоричке депресије (Зетске равнице), у 95 проба са дубине до 20 см, констатован је садржај урана до  $5 \mu\text{g/g}$  (коришћена је надовољно осјетљива аналитичка метода) и средњи садржај торијума  $11 \mu\text{g/g}$  (Пирц и др., 1991).

## МЕТОДА МЈЕРЕЊА РАДОНА У ЗЕМЉИШТУ

Концентрација, тј. запреминска активност радона у земљишту, мјерена је пасивним радиометром руске производње (Уваров и Кулаков, 1995), који је 1992. године добио сертификат од надлежних државних органа Русије.

Радиометар има облик цилиндричне металне коморе (запремина  $17 \text{ cm}^3$  унутрашњи пречник 3.2 cm). На зиду коморе постоји дванаест улазних отвора за радон, пречника 5 мм, наткриљених поклопцем који са горње стране затвара комору. Ваздушни слој између поклопца и зида коморе спречава улаз прашине и влаге. Сами отвори су прекривени полиетиленским филтером дебљине 35  $\mu\text{m}$ , који штити комору од пенетрације гаса торона. Носач са нитроцелулозним детектором (NCD)  $\alpha$ -честица ослања се на постоље смјештено у централном дијелу коморе, које је прекривено целофанском фолијом са танким слојем (13  $\mu\text{m}$ ) напареног алуминијума. Фолија је постављена са циљем да се редукује

енергија  $\alpha$ -распада потомака радона до нивоа који региструје NCD. Поред тога, она штити и унутрашњост коморе од спонтаних електро-статичких наелектрисања на детектору, која би измијенила услове таложења продуката распада радона.

Карактеристике коришћеног NCD руске производње (тип К-8, дебљине 13  $\mu\text{m}$ , густине  $1.49 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ) омогућавају само детекцију  $\alpha$ - честица које емитују продукти распада радона наталожени на алуминијско-целофанској фолији. Коришћењем Јакобијевог модела (Назаров и Неро, 1988) процијењено је да је садржај Po-218 у ваздуху у комори само 2%, а да су остали радонови потомци наталожени на унутрашњим површинама.

Експонирани детектори су нагризани 100 минута у 5 N NaOH раствору на 50°C. Ово вријеме нагризања је усвојено због добре стандардне девијације резултата читавања (испод 20%) и задовољавајућег фона ( $70 \pm 20 \text{ trag/cm}^2$ ). NCD је калибрисан изворима Pu-239 и Ra-226. Доњи праг детекције износи око 2.3 MeV, а горњи праг око 6 MeV. Трагови се читавају бројачем искри.

Радиометар је калибрисан у радонској комори (запремина коморе 0.5  $\text{m}^3$ , руда урана као извор радона, средња активност радона 5 kBq/ $\text{m}^3$  мјерена сцинтилационим ZnS детектором). Осјетљивост радиометра је  $0.7 \pm 0.2 \text{ (trag/cm}^2\text{)/(kBqh/ m}^3\text{)}$ , при нагризању од 100 минута.

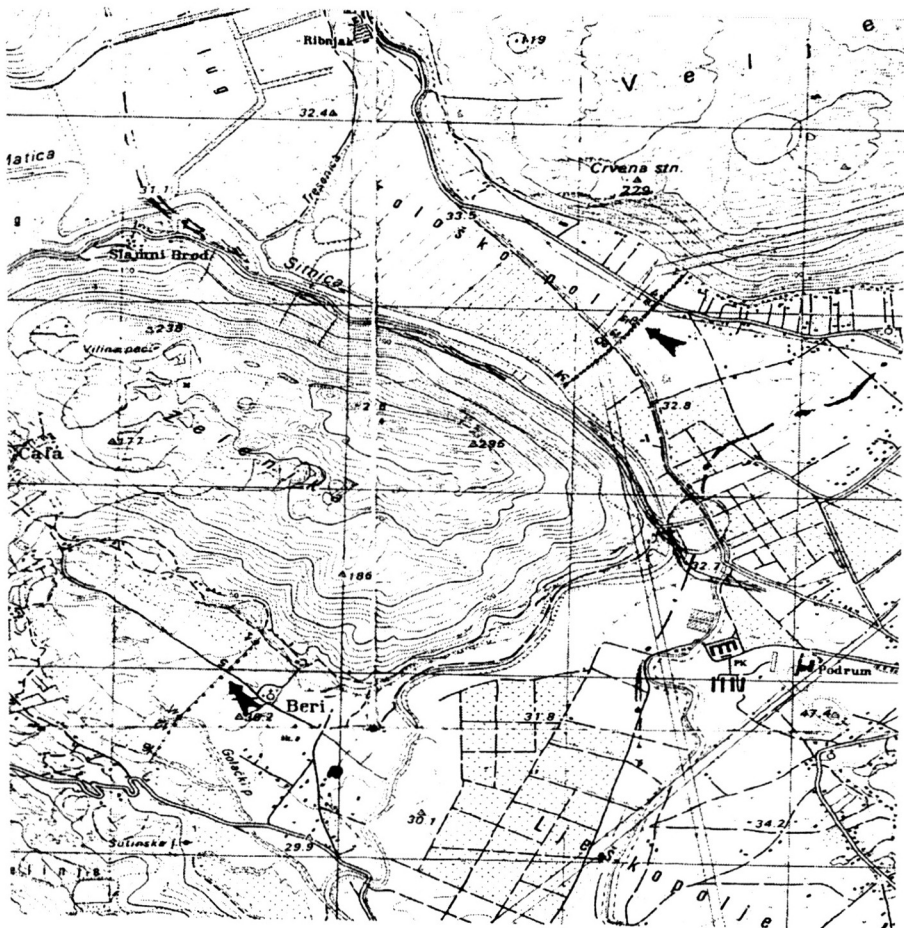
Концентрација радона у тлу јако зависи од дубине и расте са њом. И за мале дубине у земљишту (до 100 cm) таква зависност може бити, зависно од типа земљишта, веома изражена (Jonsson, 1995). Због тога, да бисмо могли упоређивати добијене резултате без њихове претходне нормализације, за коју би била неопходна посебна експериментална физичка и педолошка истраживања, радиометре смо постављали у земљиште на сличну дубину, од 60-80 cm. Да би услови мјерења били што сличнији условима који иначе постоје у земљишту и да би се спријечило било какво мјерењем радона условљено струјање ваздуха навише или разблаживање концентрације радона у земљишту атмосферским ваздухом, рупу у замљишту, ископану ради постављања радиометра, затрпавали смо истим материјалом. Експозиција детектора у земљишту трајала је 5-14 дана.

## РЕЗУЛТАТИ МЈЕРЕЊА

Да бисмо испитали да ли регионални геолошки расједи на подручју Подгорице у асеизмичким условима имају примјетног утицаја на ниво

радона у површинском слоју замљишта непосредно изнад њих, у Толошком пољу, у правцу нормалном на правац пружања једног од два регионална расједа који постоје на подручју града, постављен је 31 детектор радона, на дубини 70-80 cm и на једнаком међусобном растојању око 50 м. Диспозиција детектора је приказана на Слици 1 (указана стрелицом ради боље уочљивости, а детектори представљени тачкама).

Као референтно подручје, у близини але не непосредно изнад овог расједа и са земљиштем сличних карактеристика као оно у Толошком

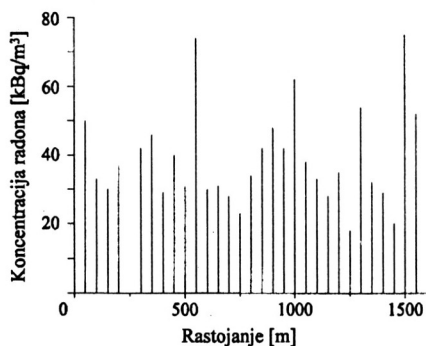


Сл. 1. Топографска карта подручја Толошког поља и Бера са диспозицијом детектора радона у земљишту.

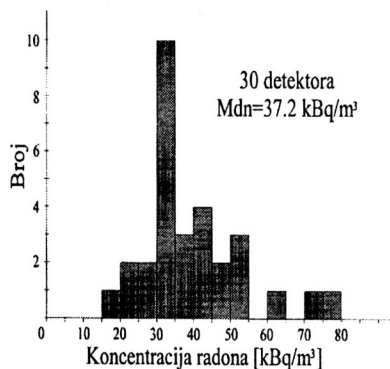
пољу, изабране су Бери. Ту је постављено 16 детектора радона, на дубини од око 70 cm и једнаком међусобном растојању од око 100  $\mu$ m. И њихова диспозиција је приказана на топографској карти на Слици 1 (такође указана стрелицом).

Експозиција детектора у Толошком пољу трајала је од 3. 12. 1994. до 16. 12. 1994. године, а у Берима од 15. 12. 1994. до 18. 12. 1994. године. У вријеме постављања детектора тло је било влажно због кише која је падала тих дана, што је смањило дифузиони коефицијент и могућност транспорта радона кроз земљиште. Међутим, за постављени циљ истраживања битно је да је влажност земљишта у ова два испитивана локалитета била слична.

Слика 2 приказује просторни распоред резултата мјерења концентрације радона у Толошком пољу. Недостаје резултат за један детектор (пети по реду), који није пронађен при вађењу детектора из земљишта. Слика 3 представља расподјелу фреквенција појављивања тих истих резултата у појединим опсезима концентрација (медијана је  $Mdn=37.2$  kBq/m<sup>3</sup>). Средња вриједност измјерених концентрација радона у Толошком пољу је 39 kBq/m<sup>3</sup>, а њихова стандардна девијација 14 kBq/m<sup>3</sup>.



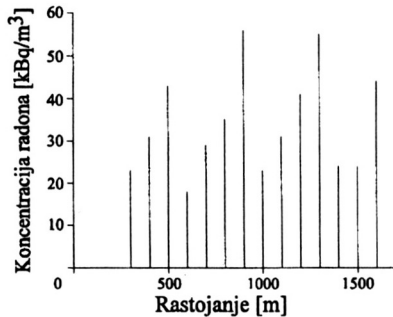
Сл. 2. Просторна расподела концентрација радона у земљишту Толошког поља



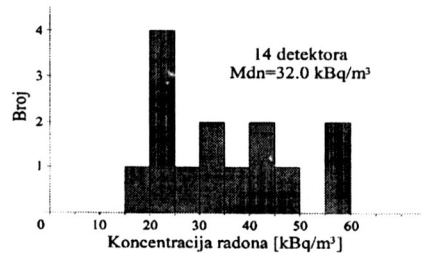
Сл. 3. Расподела нивоа радона у земљишту Толошког поља



На Слици 4 дат је дијаграм просторног распореда резултата за радон у Берима (недостају резултати за прва два детектора, који нијесу нађени), док је расподјела фреквенција тих резултата по опсезима концентрација радона дата на Слици 5 (медијана је  $32.0 \text{ kBq/m}^3$ ). Средња измјерена концентрација радона је  $34 \text{ kBq/m}^3$ , а стандардна девијација резултата  $12 \text{ kBq/m}^3$ .



Сл. 4. Просторна расподјела концентрација радона у земљишту Бера

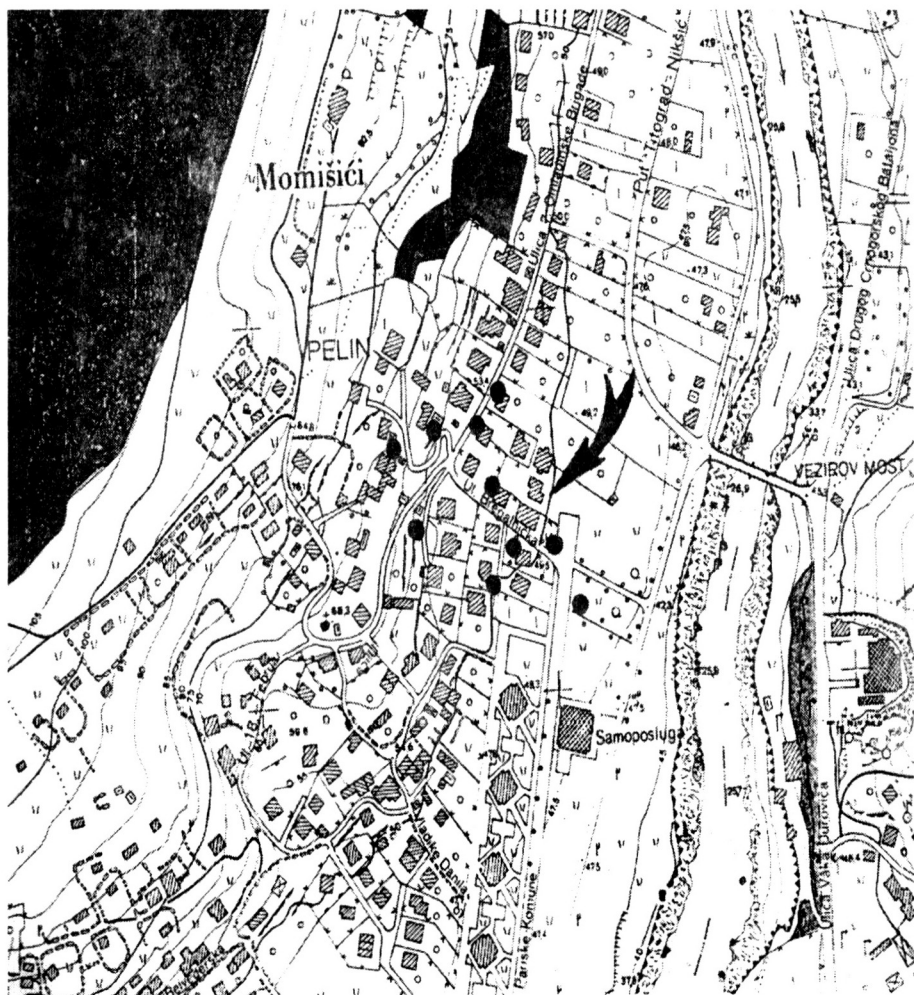


Сл. 5. Расподјела нивоа радона у земљишту Бера

Анализом добијених резултата за радон у земљишту Толошког поља и Бера, како њихове просторне расподјеле тако и њиховог опсега и средњих вриједности, не може се констатовати значајније повећање нивоа радона у Толошком пољу у односу на подручје Бера, нити се уочава груписање повећаних активности радона на појединим дјеловима анализираног профила у Толошком пољу. Према томе, у асеизмичким условима, не примјећује се утицај регионалног геолошког расједа између Зеленике и Вељег брда на ниво концентрација радона у површинском слоју земљишта директно изнад њега. Ово може бити: (1) ради тога што је расјед исувише дубоко да би радон конвекцијом могао доћи до површине, или (2) ради тога што су регионални и локални расједи међусобно повезани тако да чине мрежу расједа на подручју града и њихов утицај на концентрације радона у површинском слоју земљишта је зато готово униформан на читавом том подручју.

Ранија проспекциона мјерења „indoor“ концентрације радона у Подгорици (У в а р о в и др., 1995) показала су повећане вриједности у појединим зградама (не свим!) које су лоциране у непосредној близини

брда, тј. дисконтинуитета у рељефу градског подручја. Због тога смо радили мјерења нивоа радона у земљишту у Момишићима, код Малог брда (Слика 6) и на Забјелу, код Дајабаске горе (Слика 7). У Момишићима је постављено 10 детектора радона, на дубини 50-70 см, а на Забјелу 13 детектора, на истој дубини. Детектори у Момишићима су експонирани од 16. 02. 1995. до 21. 02. 1995. године, а детектори на Забјелу од 17. 02. 1995. до 21. 02. 1995. године. Земљиште је у том периоду било влажно због повремене кише.



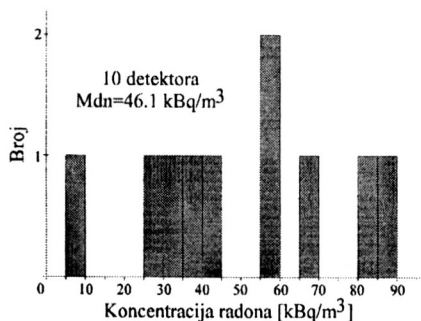
Сл. 6. Топографска карта Момишића са диспозицијом детектора радона у земљишту



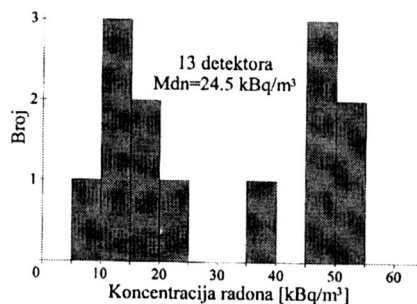
Сл. 7. Топографска карта Забјела са диспозицијом детектора радона у земљишту

Средња вриједност измјерених концентрација радона у земљишту Момишића је  $49 \text{ kBq/m}^3$ , са стандардном девијацијом резултата  $25 \text{ kBq/m}^3$ , док је средња концентрација радона у земљишту Забјела  $29 \text{ kBq/m}^3$  и стандардна девијација  $17 \text{ kBq/m}^3$ . На Слици 8 приказан је хистограм расподеле фреквенција резултата добијених за Момишиће, а на Слици 9 за Забјело. Упоредјујући ове резултате са онима за референтну локацију у Берима, види се да је опсег резултата за Забјело готово истовјетан

ономе за Бери, али да су и медијана ( $24.5 \text{ kBq/m}^3$ ) и средња вриједност нешто нижи, што може бити и резултат постављања детектора на нешто мању дубину него у Берима. Међутим, за Момишиће су и



Сл. 8. Расподјела нивоа радона у земљишту Момишића



Сл. 9 Расподјела нивоа радона у земљишту Забјела

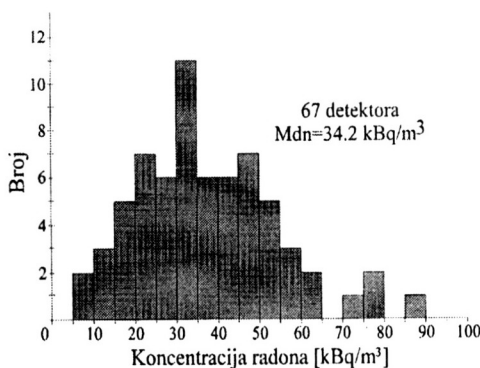
медијана ( $46.1 \text{ kBq/m}^3$ ) и средња концентрација значајно веће од оних за референтну, а и друге испитиване локације. Због малог броја урађених мјерења неопходна је опрезност у извођењу закључака, али добијени резултати ипак указују на то да дисконтинуитет равница — брдо обавезно не условљава повећање нивоа радона у тлу. Индикативно је, међутим, да су у дијелу града (Момишићи) са појединачно највећим измјереним „indoor“ активностима радона нађене и његове највеће концентрације у земљишту. Повећане концентрације радона у земљишту на овом локалитету могу бити резултат посебних карактеристика земљишта (земљиште добијено спирањем са кречњачког узвишења), или условљене постојањем пукотина и каверни у каменитом слоју испод њега.

Укупан број детектора радона постављених у земљиште ширег градског подручја Подгорице је 67. Средња концентрација радона из свих мјерења је  $37 \text{ kBq/m}^3$ , а стандардна девијација резултата  $16 \text{ kBq/m}^3$ . Расподјела фреквенција појављивања резултата очитаних са свих детектора приказана је на Слици 10. Заједничка медијана је  $34.2 \text{ kBq/m}^3$ .

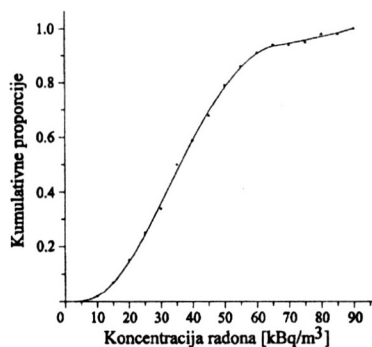
Како не постоје други подаци о радону у тлу Црне Горе са којима бисмо могли упоредити наше резултате мјерења, рецимо да су приближно исте вриједности нивоа радона, у готово исто вријеме (крај 1994. г.), измјерене у земљишту у кругу Института за нуклеарне науке

„Винча“ код Београда (Аврамовић и др., 1995).

На Слици 11 приказан је граф кумулативне пропорције за расподјелу резултата мјерења радона у земљишту Подгорице. И његов облик



Сл. 10. Укупна расподјела нивоа радона у земљишту Подгорице



Сл. 11. Кумулативна фреквенција нивоа радона у земљишту Подгорице

показује да је добијена расподјела фреквенција измјерених нивоа радона готово симетрична.

## ЗАКЉУЧАК

Наше истраживање је показало да у површинском слоју земљишта директно изнад регионалног геолошког расједа, у асеизмичким условима, нивои радона нијесу повећани у односу на друге локалитете у подручју града. Такође, није уочена закономјерност да су концентрације радона у земљишту у непосредној близини кречњачких узвишења повећане. Концентрације радона у земљишту Подгорице нити су изразито ниске, нити исувише високе. Највеће концентрације су измјерене у дијелу града гдје су нађене и појединачно највеће „indoor“ концентрације радона.

*Захвалница:* Аутори изражавају своју захвалност Међународном научном центру за екологију и здравље човјека „МЕНЕКС“ из Подгорице и Општини Подгорица, који финансирају Пројекат

истраживања радона у Подгорици, у оквиру којег су урађена и истраживања чији су резултати презентирани у овом раду. Александар Длабач, студент ЕТФ у Подгорици, урадио је све приказане дијаграме, на чему смо му веома захвални.

#### ЛИТЕРАТУРА\*

АВРАМОВИЋ И., СТАНКОВИЋ С., КОВАЧЕВИЋ М. (1995): Мерење концентрације радона у земљишту. - Зборник радова XVIII југословенског симпозијума за заштиту од зрачења. Бечићи, 24-26 мај 1995. стр. 265-268.

БОРЕЛИ Ф., ДРАГОВИЋ Д., ВУКОТИЋ П., ВУКЧЕВИЋ Л., МАРЂОКИЋ А. (1983): Испитивање радиоактивних и ријетких елемената у рудама и стијенама Црне Горе. - Завршни извјештај о раду на истраживачком пројекту, СИЗ за научне дјелатности Црне Горе, стр. 71.

FLEISHER R. L., MOGRO-CAMPERO A. (1981): Radon Transport in the Earth: a Tool for Uranium Exploration and Earthquake Prediction. - Proceedings of the 11th Inter. Conf. on SSNTD, Bristol, 7-12 September 1981, p. 501-512.

JONSSON G. (1995): Radon gas - where from and what to do?. - Radiation Measurements, 25: 537-546.

NAZAROV W. W., NERO A. V., eds. (1988): Radon and its Decay Products in Indoor Air. - Wiley, New York.

НИКЕЗИЋ Д. (1995): Радон - главни радиоактивни контаминант човјекове околине. - У монографији: Јонизујућа зрачења из природе, уредник М. Ковачевић, издавач Југословенско друштво за заштиту од зрачења, Београд 1995, стр. 145-190.

ПИРЦ С., СВРКОТА Р., ПАЈОВИЋ М. (1991): Регионална геохемијска истраживања карбонатних стијена у Југославији. - Извјештај за 1990/91. г., стр. 150 (непубликовани материјал).

UNCEAR (1988): Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation. - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, (превод на руски), том 1, стр. 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.

УВАРОВ В. В., КУЛАКОВ В. М., ВУКОТИЋ П., ДАПЧЕВИЋ С., САВЕЉИЋ Н., ПИЋУРИЋ И., ПАЈОВИЋ М., МИРКОВИЋ М., СВРКОТА Р., МРДАК Р. (1995): Први резултати мјерења концентрације радона у зградама у Подгорици. - Гласник одјељења природних наука ЦАНУ, (11, 1997).

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

## RADON CONCENTRATIONS IN SOIL OF THE TOWN PODGORICA

### Summary

Soil radon concentrations in the town Podgorica are investigated during winter season 1994/95. Radon is measured using the passive radiometer with Russian-made CND (K-8 type, 13  $\mu\text{m}$  thick, density  $1,49 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ). The radiometer is specially designed to prevent thoron and moisture penetration to the detector. The detectors are exposed 5-14 days in refilled holes at 60-80 cm depth. Then they are etched for 100 min in 5N NaOH at 50 °C, and read out with a spark counter against a permanent  $70 \pm 20 \text{ tr/cm}^2$  background. The sensitivity of the radiometer is  $0.7 \pm 0.2 \text{ (tr/cm}^2\text{)/(kBq/m}^3\text{)}$ .

By the geological evidence, the existence of two regional and many local geological faults in the town region, mutually interconnected, is supposed. The soil is of sandy clay type and 0.4-2.0 m thick, with carbonate rocks in the footwall.

The results, for particular town areas and aggregate, are presented as histograms of frequency distributions of soil radon levels (Figures 3, 5, 8-10).

The mean of all 67 measurements of the soil radon concentrations is 37 kBq/m<sup>3</sup>, and standard deviation 16 kBq/m<sup>3</sup>. The median is 34.2 kBq/m<sup>3</sup> (Fig. 10). The frequency distribution of the soil radon levels is almost symmetrical (Fig. 11).

This radon investigation has shown that radon level in the soil above the regional geological fault, in non-seismic situation, is not higher than in soil of the other town areas. The highest soil radon level is found in the town area where the highest individual values of indoor radon concentrations were measured by an express method with semiconductor detector.