

TŪRINIO RADONO AKTYVUMO DIRVOŽEMIO ORE KAITOS
PAGAL GYLĮ TYRIMASErika Streckytė¹, Audrius Gagiškis², Donatas Butkus³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹erika.streckyte@gmail.com; ²audrius.gagiskis@gmail.com; ³donatas.butkus@vgtu.lt

Santrauka. Tūrinis radono aktyvumas išmatuotas viršutiniame ir gilesniuose priesmėlio-priemolio dirvožemio oro sluoksniuose. Nustatyta, kad radono tūrinis aktyvumas įvairiuose dirvožemio gyliuose priklauso nuo dirvožemio porėtumo, aplinkos temperatūros, drėgmės, atmosferos slėgio, radžio kiekio dirvožemyje ir tankio. Pastebėtos tokios priklausomybės: kuo didesnis dirvožemio gylis, savitasis radžio aktyvumas dirvožemio ore, temperatūrų skirtumas tarp dirvožemio oro ir pažemio oro, tuo didesnis tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore bei ekshaliacijos intensyvumas. Nustatyta, kad tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore pasiskirstęs taip: $3,0 \pm 0,8$ kBq/m³ (0,4 m gylyje); $9,0 \pm 2,4$ kBq/m³ (0,6 m gylyje); $11,5 \pm 1,2$ kBq/m³ (0,8 m gylyje). Ekshaliacijos intensyvumas atitinkamuose gyliuose yra $8,0 \pm 0,9$ mBq/m²·s; $9,2 \pm 1,3$ mBq/m²·s; $10,0 \pm 0,1$ mBq/m²·s.

Reikšminiai žodžiai: ²²²Rn, tūrinis aktyvumas, dirvožemio gylis, ekshaliacijos intensyvumas, temperatūrų skirtumas.

Įvadas

Radono dujos susidaro įvairių tipų uolienose ir dirvožemiuose (Burian *et al.* 2011). Daugiausia radono dujų yra molyje ($10\text{--}120$ kBq/m³), o mažiausia – žvyre ir stambiame smėlyje ($4\text{--}20$ kBq/m³) (Abromaitytė ir kt. 2003). Molyje gana dideli savitieji gamtinės kilmės radionuklidų aktyvumai yra susiję su tuo, kad gamtinės kilmės radionuklidai yra absorbuojami molio dalelių (Dodona 2000; Pilkytė 2006).

Kadangi radonas (²²²Rn) atsiranda skylant radžiui (²²⁶Ra) (²³⁸U eilė), tai radono šaltiniai yra visos medžiagos, kuriose yra radžio (Ashok *et al.* 2011). ²²⁰Rn yra torio (²³²Th) skilimo grandinės narys, kurio skilimo pusėjimo trukmė yra 55 sekundės, todėl jis dažniausiai suskyla nespėjęs pasiekti medžiagos išorės, kurioje susidarė. Radonas (²¹⁹Rn) yra aktinio (²²⁷Ac) skilimo grandinės narys. Jo pusėjimo trukmė labai trumpa – 3,92 sekundės (Laitinen *et al.* 2008; Karadeniz *et al.* 2011). Daugiausia problemų patalpose kelia radonas (²²²Rn), kurio skilimo trukmė yra 3,8 dienos. Todėl toliau bus nagrinėjamas būtent šis urano (²³⁸U) eilės skilimo grandinės narys, ir jis toliau vadinamas tiesiog radonu.

Didesnį jonizuojantį poveikį turi ne radono dujos, o jų skilimo produktai. Jų tūrinio aktyvumo pasiskirstymas dirvožemyje yra skirtingas (Nielson, Rogers 1991).

Tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore kinta ir daugiausia priklauso nuo atmosferos slėgio, drėgmės kiekio dirvožemyje, išalo, natūralių (ledo, sniego) ir dirbtinių (betonas, asfaltas) dangų (Микляев, Петрова 2007). Radono dujų aktyvumo koncentracijos ir ekshaliacijos in-

tensyvumas skirtingose vietovėse labai skiriasi. Radono ekshaliacijos intensyvumui didelės įtakos turi tokie parametrai, kaip atmosferos slėgis, temperatūra, vėjo greitis, dirvožemio drėgmė, tipas ir kt.

Radono tūrinis aktyvumas dirvožemio ore labai priklauso nuo sezoniškumo. Vasarą jo būna mažiau, o žiemą – daugiau. Tai lemia aplinkos ir dirvožemio temperatūrų skirtumas (Fronka *et al.* 2011).

Radono tūrinio aktyvumo dirvožemio ore kitimas labai priklauso nuo dirvožemio pralaidumo. Šis kitimas didžiausias yra dirvožemiuose, sudaromuose iš stambių ir pačių mažiausių dalelių (Clavensjo *et al.* 1999).

Yra žinoma, kad tūrinis radono ir jo skilimo produktų dirvožemio ore aktyvumas didėja, didėjant dirvožemio gyliui. Tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore esant įvairiam gyliui priklauso nuo radono difuzijos ir grunto greičio (Clavensjo *et al.* 1999).

Radono tūrinis aktyvumas buvo tirtas Al-Najaf Al-Ashraf miesto Irake dirvožemio ore. Ištirti keturi skirtingų dirvožemių gyliai: 5, 25, 35 ir 60 cm. Didžiausias tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore buvo gautas 9290 ± 400 Bq/m³ 60 cm gylyje, o mažiausias – 9 ± 17 Bq/m³ 5 cm gylyje (Hasan *et al.* 2011).

Radono tūrinio aktyvumo matavimai pavasario metu atlikti rytinėje Amazonės dalyje pievose ir miškingose vietovėse. Vietovės dirvožemis yra sukaukęs didelius vandens ir anglies kiekius. Nustatyta, kad pievose iki 100 cm dirvožemio gylio tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore

didėjo maždaug iki 95 kBq/m³, toliau, didėjant gyliui iki 300 cm, tūrinis aktyvumas neženkliai mažėjo ir dar gilėjant – išliko pastovus. Miškingose vietovėse tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore taip pat intensyviai didėjo iki 100 cm gylio ir sudarė apie 65 kBq/m³. Toliau gilėjant tūrinis radono aktyvumas neženkliai sumažėjo ir išliko pastovus (55 kBq/m³) (Davidson, Trumbore 1995).

Bonos universiteto mokslininkai tūrinį radono aktyvumą dirvožemio ore matavo 1 ir 2 m gylyje. Matavimai atlikti vietovėje, kurioje vyrauja smėlingas dirvožemis. Nustatyta, kad tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore priklauso nuo sezoniškumo. Didžiausias vidutinis tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore užfiksuotas žiemą 791 kBq/m³ 2 m gylyje, o mažiausias vasarą – 200 kBq/m³ 1 m gylyje (Kemski *et al.* 2001).

Tūrinis radono aktyvumas buvo matuotas 0–2 m gylyje dirvožemiuose, kuriuose gruntinio vandens lygis skirtingas. Tyrimai atlikti pietinėje Švedijos dalyje, kur daugiausia vyrauja molingas dirvožemis. Pastebėta, kad tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore didėjo, kol pasiekė gruntinio vandens lygį, o žemiau jo, dar gilėjant į žemės gelmes, pradėjo mažėti (Jonsson 2001).

2002–2003 ir 2003–2004 m. tūrinį radono aktyvumą dirvožemio ore matavo Aristotelio universiteto mokslininkai Graikijoje. Tūrinis radono aktyvumas didėjo iki 80 cm gylio, 80–130 cm gylyje išliko pastovus, o nuo 130 cm vėl didėjo. Tūrinio radono aktyvumo dirvožemio ore pasiskirstymas apskaičiuotas taikant difuzijos ir pernašos lygtį (Antonopoulos-Domi *et al.* 2009).

Vienas iš faktorių, kuris lemia tūrinį radono aktyvumą dirvožemio ore, yra dirvožemio ir aplinkos oro temperatūros skirtumas. Sumažėjus temperatūrai dujos susispaudžia, padidėjus – išsiplečia. Esant dideliems temperatūros skirtumams tarp dirvožemio ir atmosferos stebima vis ryškesnė natūralioji konvekcija (Микляев, Петрова 2007).

Darbo tikslas – nustatyti tūrinį radono aktyvumą priemelio dirvožemio ore 0,4; 0,6; 0,8 m gylyje ir pažemio ore, esant skirtingoms dirvožemio ir atmosferos temperatūroms bei drėgmei.

Tūrinio radono aktyvumo dirvožemio ore kaitos pagal gylį matavimo metodika

Tūrinio radono aktyvumo tyrimams buvo naudojamas RTM2200 prietaisas, kuris remiasi nauja SARAD'o išplėtotą DACM (duomenų surinkimo ir valdymo modulis) technologija. Ši tyrimo įranga susideda iš tokių komponentų: radono monitoriaus ir dirvožemio grąžtų. Dar naudojama pompa bei termopora.

Šis prietaisas per ilgą laiko tarpą gali surinkti didelius duomenų kiekius, kurie vėliau turi būti perkelti į kompiuterį apdorojimui.

Įjungus prietaisą, ekrane nurodyti pagrindiniai monitoriaus valdymo parametrai.

Iš pradžių naudojantis grąžtu 0,4; 0,6; 0,8 m gylyje buvo išgręžtas vertikalus gręžinys. Iš kiekvieno gylio paimti dirvožemio mėginiai.

Dirvožemio mėginiai buvo imti:

- nuo dirvožemio paviršiaus;
- iš 0,4 m gylio dirvožemio sluoksnio;
- iš 0,6 m gylio dirvožemio sluoksnio;
- iš 0,8 m gylio dirvožemio sluoksnio.

Dirvožemio mėginiai buvo imami grąžtu, kurio antgalis yra kaip kerno stulpelis. Šiuo grąžtu gręžiamas gręžinys ir iš reikiamo gylio imami dirvožemio mėginiai.

Tada į gręžinį statomas matavimo zondas, kuris turi guminių maišelį (1 pav.). Pripūtus guminių maišelį, gręžinys užsandarinamas, kad į jį neprasisverkėtų išorės oras.



1 pav. Matavimo zondas išgręžtame gręžinyje (autorius nuotrauka)
Fig. 1. The measuring probe in the drilled borehole (author's photo)

Zondas sujungiamas su šalia stovinčiu radono monitoriumi, po to pusę valandos iš kiekvieno gylio siurbiamas oras ir matuojamas tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore.

Baigus matavimą viename gylyje, iš zondo išleidžiamas oras ir jis ištraukiamas.

Tada dirvožemio temperatūra matuojama naudojant termoporą.

Vėl dedamas grąžtas ir gręžiama iki kito gylio, tada paimamas dirvožemio mėginys ir vėl statomas zondas, naudojantis pompa guminių maišelį pripučiamas oro.

Radono srautas dirvožemio ore E_{Rn} (mBq/m²·s) priklauso nuo geofizinių dirvožemio parametrų ir apskaičiuojamas pagal formulę (Sun *et al.* 2004; Goto *et al.* 2001):

$$E_{Rn} = A_{Ra} \cdot f \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\lambda_{Rn} \cdot D_e}, \quad (1)$$

čia: f – radono ekshalacijos koeficientas ($f = 0 \div 1$); A_{Ra} – radžio savitasis aktyvumas dirvožemyje, Bq/kg; λ_{Rn} – radono skilimo konstanta, s^{-1} ($\lambda_{Rn} = 2,1 \cdot 10^{-6} s^{-1}$); ρ_s – dirvožemio tankis, kg/m^3 ; D_e – efektyvus difuzijos koeficientas, m^2/s .

Radono efektyvus difuzijos koeficientas D_e (m^2/s) dirvožemyje apskaičiuojamas pagal šią lygtį (Warnecke 2011):

$$D_e = T^{0,5} \cdot 0,943 \sqrt{\frac{R}{\pi \cdot M}} \cdot d_p, \quad (2)$$

čia: T – dirvožemio temperatūra, K; R – universalioji dujų konstanta, 8,31 J/K·mol; M – dujų molio masė, kg/mol; d_p – dirvožemio dalelių stambumas, m.

$^{226}_{88}Ra$, $^{214}_{82}Pb$ ir $^{214}_{83}Bi$ savitųjų aktyvumų nustatymas

Į laboratoriją polietilenuose maišeliuose buvo atgabenti dirvožemio mėginiai ir paruošti spektrometrinei analizei. Iš dirvožemio pašalinta žolė, šaknys, stambesni akmenukai, mėginiai pasverti. Po to mėginiai buvo išdžiovinti. Sausas dirvožemis susmulkintas, išsijotas, supiltas į 72 ml kiuvetes ir mėginiai vėl buvo pasverti.

Radionuklidų aktyvumas dirvožemio mėginiuose matuotas vidutiniškai po 3 paras. Radionuklidai identifikuoti pagal šias energijas: ^{214}Pb – 242 keV, ^{214}Pb – 352 keV ir ^{214}Bi – 609 keV.

Išmatuotas radionuklidų aktyvumas mėginiuose perskaičiuotas masės vienetui (savitasis aktyvumas, Bq/kg). Radionuklidų savitieji aktyvumai mėginyje buvo apskaičiuoti pagal (1.3) formulę:

$$A = \frac{\frac{S}{t} - \frac{S_f}{t_f}}{m \cdot \varepsilon \cdot \gamma}, \quad (3)$$

čia: S – spektro smailės plotas, imp.; S_f – foninis spinduliuotės smailės plotas, imp.; t_f – foninės spinduliuotės matavimo laikas, s; t – bandinio matavimo laikas, s; m – bandinio masė, kg; ε – gama spektrometro efektyvumas; γ – radionuklido atitinkamos energijos skilimo kvantinė išėiga.

Radžio savitasis aktyvumas A_{Ra} (Bq/kg) apskaičiuojamas pagal (1.4) formulę:

$$A_{Ra} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3 \cdot 1,23}, \quad (4)$$

čia: A_1 – švino $^{214}_{82}Pb$, kurio gama spinduliuotės energija yra 242 keV, savitasis aktyvumas, Bq/kg; A_2 – švino $^{214}_{82}Pb$, kurio gama spinduliuotės energija yra 352 keV, savitasis akty-

vumas, Bq/kg; A_3 – bismuto $^{214}_{83}Bi$, kurio gama spinduliuotės energija yra 609 keV, savitasis aktyvumas, Bq/kg.

Matavimų metu periodiškai matuota foninė spinduliuotė. Jos kaita apytiksliai lygi nuliui.

Dirvožemio granulometrinės struktūros nustatymas

Dirvožemio granulometrinė sudėtis apibūdinama pagal sausų grumstų kietumą, drėgnos masės klįjingumą, lipnumą, minklumą (ar voliojasi į 4–5 mm storio virvutę), pagal šiurkštumą ar švelnumą, trinant dirvožemį tarp pirštų. Lauko sąlygomis granulometrinė sudėtis nustatoma čiupiant (Dirvožemio ekologija 2011):

- smėlis – pavieniai grūdėliai, lengvai matomi ir čiupiant juntami. Sausas smėlis suspaustas saujoje ir paleistas išbyra, o drėgnas – išlaiko formą, bet paleistas subyra;
- priemolis – turi daug smėlio dalelių, bet ir pakankamai molio ir dulkių sulipti. Pavieniai smėlio grūdėliai lengvai matomi ir juntami. Suspaustas sausas saujoje sudaro grumstelį, kuris lengvai subyra, suspaustas drėgnas – išlieka pastovios grumstelio formos, atsargiai jį laikant nesuyra;
- priemolis – turi santykinai vidutinį kiekį smėlio bei dulkių ir mažą – molio. Švelnus, bet turi šiek tiek šiurkštumo. Suspaustas sausas sudaro grumstelį, kuris atsargiai jį laikant nesuyra. Suspaustas drėgnas sudaro pakankamai tvirtą grumstelį;
- molis – sudarytas iš labai smulkių dalelių. Sausas sudaro labai kietus grumstus, o šlapias – pakankamai plastiškas ir lipnus. Drėgnas voliojamas tarp nykščio ir smiliaus sudaro ilgą lanksčią virvutę.

Dirvožemio drėgmės nustatymas

Paimtas analizei dirvožemio mėginys elektroninėmis svarstyklėmis buvo pasvertas 0,001 g tikslumu. Mėginiai buvo džiovinami iki pastovaus svorio, o po džiovinimo vėl pasverti.

Natūralus dirvožemio drėgmės kiekis W – tai esančio dirvožemio porose vandens masės santykis su kietųjų dalelių mase, išreikštas procentais. Kietųjų dalelių masė pagal skaitinę reikšmę lygi sauso (išdžiovinto) dirvožemio masei.

Vandens (išgaravusio džiovinant) masė apskaičiuojama iš drėgno dirvožemio masės atimant kietųjų dalelių masę (Amšiejus *et al.* 2002):

$$W = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%, \quad (5)$$

čia: m_w – vandens (išgaravusio džiovinant) masė, kg;
 m_s – sauso dirvožemio mėginio masė, kg.

Dirvožemio tankio nustatymas

Dirvožemio tankiu vadinama natūraliai susiklojusio sauso dirvožemio (su oro tarpeliais) tūrio vieneto masė, priklausanti nuo dirvožemio poringumo, struktūros, mineralinės sudėties ir kt.

Dirvožemio tankiui nustatyti naudojamas sausas, išdžiovintas iki pastovaus svorio dirvožemio mėginys.

Nesijotas, sausas dirvožemis beriamas į 72 ml matavimo kiuvetę, nuolat ją sukrotant, kad dirvožemis natūraliai susiklotų. Pripildyta kiuvetė pasverama.

Dirvožemio tankis ρ (kg/m^3) apskaičiuojamas pagal (1.6) formulę (Navickas 2008):

$$\rho = \frac{m - m_c}{V_k}, \quad (6)$$

čia: m – matavimo kiuvetės su dirvožemiu masė, kg; m_c – matavimo kiuvetės masė, kg; V_k – matavimo kiuvetės tūris, m^3 .

Rezultatai ir jų analizė

Tyrimai buvo atlikti rytinėje Vilniaus miesto dalyje, šalia miškelio ant kalvos. Tūrinis radono aktyvumas matuotas 2011 metų birželio mėnesį saulėtą, mažai vėjotą dieną.

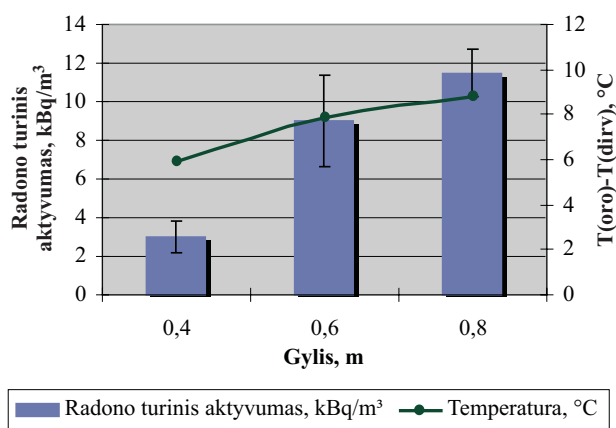
Iš paimtų dirvožemio mėginių laboratorijoje apčiuopimo būdu nustatyta granulometrinė dirvožemio sudėtis, – toje vietovėje daugiausia prie paviršiaus vyrauja priemolis, giliau – priemolis, molis. Įvairiuose gyliuose tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore kito nuo 3 iki 12 kBq/m^3 .

Analizuojant mokslininkų Hasan *et al.* (2011); Davidson, Trumbore (1995) darbus (žiūrėti anksčiau), pastebima tendencija, kad didėjant dirvožemio gyliui, didėja ir tūrinis radono aktyvumas.

Šiame darbe taip pat nustatyta radono tūrinio aktyvumo dirvožemio ore priklausomybė nuo dirvožemio gylio. Kuo didesnis gylis, tuo tūrinis radono aktyvumas didesnis. Pavyzdžiui, 0,4 m gylyje radono tūrinis aktyvumas siekė $3,0 \pm 0,8 \text{ kBq}/\text{m}^3$, o 0,8 m gylyje – jau $11,5 \pm 1,2 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (2 pav.).

Palyginta tūrinio radono aktyvumo dirvožemio ore kaita toje pačioje vietovėje ir gruodžio mėnesį. Pavyzdžiui, 0,4 m gylyje tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore siekė $16,3 \pm 0,7 \text{ kBq}/\text{m}^3$, o 0,8 m gylyje – jau $24,4 \pm 5,3 \text{ kBq}/\text{m}^3$.

Kai kurie mokslininkai (Sundal *et al.* 2008) yra tyrę, kaip tūrinis radono aktyvumas kinta tam tikrais sezonais ir paros laikotarpiu. Buvo nustatyta, kad kuo didesnis aplinkos ir dirvožemio temperatūrų skirtumas, tuo didesnis tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore.



2 pav. Tūrinio radono aktyvumo dirvožemio ore priklausomybė nuo dirvožemio gylio ir aplinkos bei dirvožemio temperatūros skirtumo

Fig. 2. The dependence of the volumetric activity of radon in soil air on soil depth, the environment and differences in soil temperature

Šiame darbe taip pat nustatytos šios priklausomybės. Pavyzdžiui, kai aplinkos ir dirvožemio temperatūrų skirtumas lygus $7,9 \text{ }^\circ\text{C}$, tai radono tūrinis aktyvumas dirvožemio ore – $9,0 \pm 2,4 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,6 m gylyje), o kai šių temperatūrų skirtumas – $8,8 \text{ }^\circ\text{C}$, tai tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore – $11,5 \pm 1,2 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,8 m gylyje).

Gruodžio mėnesį: kai aplinkos ir dirvožemio temperatūrų skirtumas lygus $-4,0 \text{ }^\circ\text{C}$, tai radono tūrinis aktyvumas dirvožemio ore – $21,9 \pm 0,8 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,6 m gylyje), o kai šių temperatūrų skirtumas $-4,9 \text{ }^\circ\text{C}$, tai tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore – $24,4 \pm 5,3 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,8 m gylyje). Minusinis temperatūrų skirtumas yra todėl, kad gruodžio mėnesį vidutinė oro temperatūra buvo $-1 \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kaip matyti iš 3 paveikslėlio, esant $13,62 \pm 0,31 \text{ Bq}/\text{kg}$ radžio (^{226}Ra) savitajam aktyvumui, tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore siekia $3,0 \pm 0,8 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,4 m gylyje), o jei radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas $15,46 \pm 0,4 \text{ Bq}/\text{kg}$, tai tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore – $11,5 \pm 1,2 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,8 m gylyje).

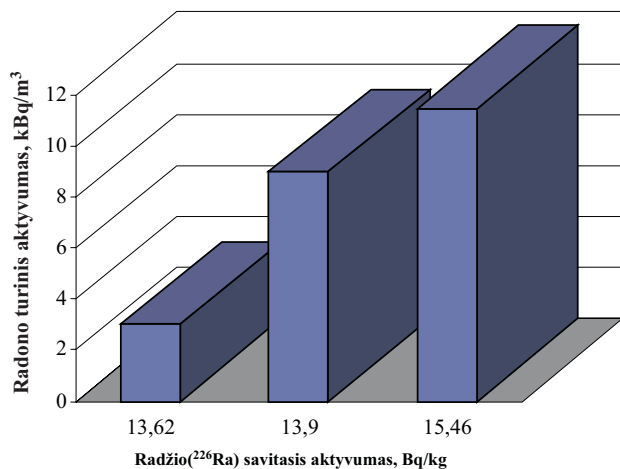
Gruodžio mėnesį atlikti matavimai tik patvirtina šį faktą: esant $13,62 \pm 0,31 \text{ Bq}/\text{kg}$ radžio (^{226}Ra) savitajam aktyvumui, tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore siekia $16,3 \pm 0,7 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,4 m gylyje), o jei radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas $15,46 \pm 0,4 \text{ Bq}/\text{kg}$, tai tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore – $24,4 \pm 5,3 \text{ kBq}/\text{m}^3$ (0,8 m gylyje).

Radonas susidaro žemės gelmėse skylant cheminiam radioaktyviajam elementui radžiui, taigi kuo didesnis radžio (^{226}Ra) kiekis dirvožemyje, tuo didesnis tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore. Tyrimo rezultatai pateikti 3 pav.

Skylant radono branduoliams, susidaro dar ištisa serija trumpaamžių radioaktyviųjų elementų, kurie savo ruožtu

1 lentelė. Temperatūros ir drėgnio parametrai
Table 1. Temperature and humidity parameters

Gylis, m	Oro temp., °C	Dirvožemio oro temp., °C	Oro drėgnis, %	Dirvožemio oro drėgnis, %
0,4	26,0 ± 0,2	20,1 ± 0,4	63,0 ± 0,5	7,0 ± 1,0
0,6	26,0 ± 0,2	18,1 ± 0,4	61,0 ± 1,0	6,0 ± 0,3
0,8	25,0 ± 0,1	16,2 ± 0,4	62,0 ± 0,6	8,0 ± 0,5



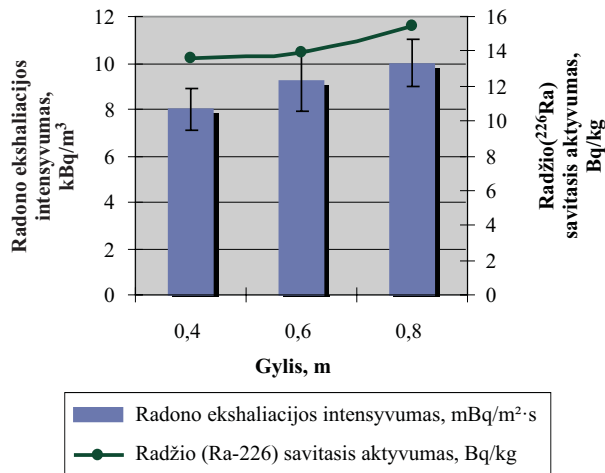
3 pav. Tūrinio radono aktyvumo dirvožemio ore priklausomybės nuo savitojo radžio (²²⁶Ra) aktyvumo dirvožemyje

Fig. 3. The dependence of the volumetric activity of radon in soil air on the activity of specific radium (Ra) in soil

taip pat yra stiprūs *alfa*, *beta* ir *gamma* spinduliuotės šaltiniai. Radioaktyvios dujos, sklindančios iš dirvožemio, išsisklaido atmosferoje ir tūrinis jų aktyvumas paprastai, yra labai mažas.

Tyrimo metu buvo išmatuotas ir tūrinis radono aktyvumas dirvožemio paviršiuje, 1 m aukštyje. Pagal gautus rezultatus, tūrinis radono aktyvumas žemės paviršiuje yra $0,2 \pm 0,4$ kBq/m³. Rezultatai gauti esant tokiems meteorologiniams veiksniams: vidutinė oro temperatūra – $26,0 \pm 0,2$ °C, oro drėgnis – 46 ± 2 %, atmosferos slėgis – $99,3 \pm 0,03$ kPa. Lyginant su dirvožemio ore gautais rezultatais, tai yra labai mažas dydis. Palyginti su gruodžio mėnesio matavimu, rezultatai skyrėsi – tūrinis radono aktyvumas žemės paviršiuje tada buvo $0,6 \pm 1,4$ kBq/m³, kai vidutinė oro temperatūra – $-1,0 \pm 0,3$ °C, oro drėgnis – $78,0 \pm 0,3$ %, atmosferos slėgis – $99,8 \pm 0,1$ kPa. Taigi kuo oro temperatūra žemesnė, tuo tūrinis radono aktyvumas žemės paviršiuje didesnis.

Kaip matyti iš 1 lentelės duomenų, tyrimo metu oro temperatūra buvo daugmaž vienoda – vidutiniškai $26,7 \pm 0,2$ °C, kiekviename gylyje dirvožemio temperatūra skyrėsi. Kuo giliau dirvožemyje, tuo jo temperatūra mažesnė (vasaros laikotarpiu). Oro drėgnis buvo gana didelis – apie $62,0 \pm 0,7$ %, tuo tarpu dirvožemio drėgnis sudarė apytiksliai $7 \pm 1,0$ %.



4 pav. Radono ekshalacijos intensyvumo ir radžio (²²⁶Ra) savitojo aktyvumo dirvožemio ore priklausomybė nuo gylio

Fig. 4. The dependence of the exhalation of radon intensity and specific activity of radium (Ra) in soil air on depth

Buvo pastebėta, kad kuo mažesnė dirvožemio temperatūra, tuo tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore yra didesnis. Pavyzdžiui, esant $18,1 \pm 0,1$ °C dirvožemio temperatūrai, tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore buvo $9,0 \pm 2,4$ kBq/m³ (0,6 m gylyje), o esant $16,2 \pm 0,1$ °C temperatūrai – $11,5 \pm 1,2$ kBq/m³ (0,8 m gylyje). Atlikus tyrimą gruodžio mėnesį, gauti atvirkštiniai rezultatai. Kuo dirvožemio temperatūra didesnė, tuo tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore didesnis. Pavyzdžiui, esant $3,0 \pm 0,4$ °C temperatūrai, tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore buvo $21,9 \pm 0,8$ kBq/m³ (0,6 m gylyje), o esant $3,9 \pm 0,4$ °C temperatūrai buvo – $24,4 \pm 5,3$ kBq/m³ (0,8 m gylyje).

Atlikus tyrimą, galima pastebėti, kad kuo arčiau žemės paviršiaus, tuo yra mažesnis dirvožemio tankis ir savitasis radžio (²²⁶Ra) aktyvumas ir kuo arčiau žemės paviršiaus, tuo didesnė dirvožemio temperatūra ir porėtumas.

Shweikani, Hushari (2005) yra nustatę ekshalacijos intensyvumo priklausomybę nuo radžio savitojo aktyvumo dirvožemio ore. Kuo didesnis radžio savitasis aktyvumas, tuo didesnis ekshalacijos intensyvumas, pvz.: kai radžio savitasis aktyvumas $11,0 \pm 4,0$ Bq/kg, tai ekshalacijos intensyvumas lygus $44,0 \pm 7,0$ mBq/m²·s, o kai radžio savitasis aktyvumas $13,0 \pm 5,0$ Bq/kg, tai ekshalacijos intensyvumas – $46,0 \pm 7,0$ mBq/m²·s.

Šiame darbe gauta tokia pati priklausomybė tarp radono ekshaliacijos intensyvumo ir radžio savitojo aktyvumo. Iš 4 paveikslo matyti, kad kuo didesnis radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas dirvožemyje, tuo didesnis ir radono ekshaliacijos intensyvumas tam tikrame gylyje. Pavyzdžiui, kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas yra $13,9 \pm 0,32$ Bq/kg, tai radono ekshaliacijos intensyvumas – $9,2 \pm 1,3$ mBq/m²·s, o kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas – $15,46 \pm 0,40$ Bq/kg, tai radono ekshaliacijos intensyvumas – $10,0 \pm 1,0$ mBq/m²·s. Tokia pati priklausomybė pastebėta ir matavime, atliktame žiemos sezonu (gruodžio mėnesį). Pavyzdžiui, kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas yra $13,9 \pm 0,32$ Bq/kg, tai radono ekshaliacijos intensyvumas – $8,8 \pm 1,2$ mBq/m²·s, o kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas – $15,46 \pm 0,40$ Bq/kg, tai radono ekshaliacijos intensyvumas – $10,0 \pm 0,7$ mBq/m²·s.

Tam tikrais sezonais buvo atlikti vos keli matavimai, todėl negalima teigti, kad būtent tokios priklausomybės, kokios buvo gautos, egzistuoja visuose regionuose.

Išvados

1. Radono tūrinis aktyvumas Vilniaus miesto rytinėje dalyje įvairiuose priesmėlio ir priemolio dirvožemio gyliuose (0,4; 0,6; 0,8 m) kito nuo 3 iki 12 kBq/m³. Matavimai buvo atlikti esant vidutinei oro temperatūrai – $26 \pm 0,2$ °C, oro drėgnumui – $61 \pm 0,7$ % ir atmosferos slėgiui – $99,3 \pm 0,03$ kPa ir lyginami su matavimais, atliktais gruodžio mėnesį, esant vidutinei oro temperatūrai – $-1 \pm 0,3$ °C, oro drėgnumui – $78 \pm 0,3$ % ir atmosferos slėgiui – $99,8 \pm 0,03$ kPa.
2. Nustatyta, kad tūrinis radono aktyvumas 0,4 m gylyje birželio mėnesį buvo $3,0 \pm 0,8$ kBq/m³, esant $5,9$ °C skirtumui tarp atmosferos ir dirvožemio temperatūrų, ir gruodžio mėnesį – $16,3 \pm 0,7$ kBq/m³ esant $-3,4$ °C skirtumui tarp atmosferos ir dirvožemio temperatūrų. 0,8 m gylyje tūrinis radono aktyvumas birželio mėnesį buvo $11,5 \pm 1,2$ kBq/m³ esant $8,8$ °C temperatūrų skirtumui ir gruodžio mėnesį – $24,4 \pm 5,3$ kBq/m³ esant $-4,9$ °C temperatūrų skirtumui. Minusinis temperatūrų skirtumas yra todėl, kad gruodžio mėnesį vidutinė oro temperatūra buvo $-1 \pm 0,3$ °C.
3. Nustatyta, kad tūrinis radono aktyvumas dirvožemio ore esant įvairiam gyliui buvo pasiskirstęs šitaip: $3,0 \pm 0,8$ kBq/m³ – 0,4 m gylyje (radžio kiekis dirvožemyje $13,62 \pm 0,31$ Bq/kg), $9,0 \pm 2,4$ kBq/m³ – 0,6 m gylyje (radžio kiekis dirvožemyje $13,90 \pm 0,32$ Bq/kg) ir $11,5 \pm 1,2$ kBq/m³ – 0,8 m gylyje (radžio kiekis dirvožemyje $15,46 \pm 0,40$ Bq/kg). Žemės paviršiuje tūrinis radono aktyvumas siekė $1,2 \pm 0,4$ kBq/m³ (radžio kiekis dirvožemyje $12,14 \pm 0,31$ Bq/kg).
4. Apskaičiuotas ekshaliacijos intensyvumas įvairiuose dirvožemio gyliuose: kuo giliau nuo žemės paviršiaus, tuo ji didesnė. Pavyzdžiui, kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas yra $13,62 \pm 0,31$ Bq/kg, tai radono ekshaliacijos intensyvumas 0,4 m gylyje – $8,0 \pm 0,9$ mBq/m²·s (birželio mėnesį), $7,1 \pm 1,0$ mBq/m²·s (gruodžio mėnesį), o kai radžio (^{226}Ra) savitasis aktyvumas – $15,46 \pm 0,40$ Bq/kg, tai radono ekshaliacija 0,8 m – $10,0 \pm 1,0$ mBq/m²·s (birželio mėnesį), $10,0 \pm 0,7$ mBq/m²·s (gruodžio mėnesį).

Literatūra

- Abromaitytė, R.; Pilkytė, L.; Morkūnas, G. 2003. Radono rizikos tyrimai Panevėžio miesto plėtros zonoje, *Sveikatos mokslai* 13(3): 32–35.
- Amšiejus, J.; Mackevičius, R.; Medzvieckas, J.; Stragys, V. 2002. *Gruntų mechanika*: laboratoriniai darbai. Vilnius: Technika. 114 p.
- Antonopoulos-Domi, S.; Xanthos, S.; Clouvas, A.; Alifrangis, D. 2009. Experimental and Theoretical Study of Radon Distribution in Soil, *Health Physics Society* 97(4): 322–331. <http://dx.doi.org/10.1097/HP.0b013e3181adc157>
- Ashok, G. V.; Nagaiah, N.; Shiva Prasad, N. G. 2011. Indoor Radon Concentration and its Possible Dependence on Ventilation Rate and Floor-ring Type, *Radiation Protection Dosimetry*, 1–9.
- Burian, I.; Otahal, P.; Vosahlik, J.; and Pilecka, E. 2011. Czech Primary Radon Measurement Equipment, *Radiation Protection Dosimetry* 145(2–3): 333–336. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncr041>
- Clavensjo, B.; Akerblom, G.; Morkūnas, G. 1999. *Radonas patalpose. Jo kiekio mažinimo būdai*. Vilnius: Litimo.
- Davidson, E. A.; Trumbore, S. E. 1995. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon, *Department of Earth System Science, University of California, Irvine, USA*, 47: 550–556.
- Dirvožemio ekologija. 2011. [Žiūrėta 2012 m. vasario 21 d.]. Prieiga per internetą: http://gamta.vdu.lt/baka-laurai/lab_darbai/apl_dirvozemio_ekol/dirvozemio_ekol_1.pdf
- Dodona, A. 2000. Estimation of the natural radioactivity of the Albanian clays, *Balkan Geophysical Society* 3(1): 7–12.
- Fronka, A.; Jilek, K.; Moucka, L.; Brabec, M. 2011. Significance of independent radon entry rate and air exchange rate assessment for the Purpose of radon mitigation effectiveness proper evaluation: case studies, *Radiation Protection Dosimetry* 145(2–3): 133–137. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncr051>
- Goto, M.; Moriizumi, J.; Yamazawa, H.; Iida, T.; Zhuo, W.; Zikovskiy, L. 2001. Temperature dependence of adsorption coefficients of ²²²Rn on activated charcoal determined by adsorption-desorption method, *Health Physics* 80(2): 175–176. <http://dx.doi.org/10.1097/00004032-200102000-00011>

- Hasan, A. K.; Subber, A. R. H.; Shaltakh, R. 2011. Measurement of Radon Concentration in Soil Gas using RAD7 in the Environs of Al-Najaf Al-Ashraf City-Iraq, *Advances in Applied Science Research* 2(5): 273–278.
- Jonsson, G. 2001. Soil radon depth dependence, *Journal of Radiation Measurements* 34: 415–418.
[http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00197-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00197-4)
- Karadeniz, Ö.; Yaprak, G.; Akal, C.; Emen, I. 2011. Indoor Radon Measurements in the Granodiorite Area of Bergama (Pergamon)-Kozak, Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 1–8.
- Kemski, J.; Siehs, A.; Stegemann, R.; Valvidia-Manchego, M. 2001. Mapping the geogenic radon potential in Germany, *Science of the Total Environment* 272(1–3): 217–230.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00696-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00696-9)
- Laitinen, M.; Riihimäki, I.; Ekman, J.; Ananda Sagari, A. R.; Karlsson, L.B.; Sangyuenyongpipat, S.; Gorelick, S.; Kettunen, H.; Penttilä, H.; Hellborg, R.; Sajavaara, T.; Helgesson, J.; Whitlow, H. J. 2008. Mobility determination of lead isotopes in glass for retrospective radon measurements, *Radiation Protection Dosimetry* 131(2): 212–216.
<http://dx.doi.org/10.1093/tpd/ncn162>
- Navickas, J. 2008. *Agrofizika ir agrometeorologija: metodiniai patarimai*. Kaunas: Ardiva. 100 p.
- Nielson, K. K.; Rogers, V. C. 1991. Radon entry modelling – slab on grade. [Žiūrėta 2012 m. vasario 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aarst.org/proceedings/1991/1991_27_Radon_Entry_Modelling-Slab_On_Grade.pdf>.
- Pilkytė, L. 2006. *Radionuklidų savitojo aktyvumo statybinėse medžiagose Lietuvoje eksperimentinis tyrimas, jų sukeltos apšvitos modeliavimas ir vertinimas: Daktaro disertacija*. VGTU, Vilnius.
- Sun, K.; Guo, Q.; Zhuo, W. 2004. Feasibility for Mapping Radon Exhalation Rate from Soil in China, *Nuclear Science and Technology* 41(1): 86–90.
<http://dx.doi.org/10.1080/18811248.2004.9715462>
- Sundal, A. V.; Valen, V.; Soldal, O.; Strand, T. 2008. The influence of meteorological parameters on soil radon levels in permeable glacial sediments, *Journal of Science of the Total Environment* 389: 418–428.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.001>
- Warnecke, H. J. 2011. *Temperaturabhängigkeit des effektiven Diffusionskoeffizienten in porösen Stoffen*. Universität Paderborn, Praktikum TC1 Chemische Reaktionstechnik.
- Микляев, П. С.; Петрова, Т. Б. 2007. *Основные факторы, определяющие поступление радона с поверхности почвы в атмосферу*. Москва.

RESEARCH ON CHANGES IN THE VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADON IN SOIL AIR DEPENDING ON DEPTH

E. Streckytė, A. Gagiškis, D. Butkus

Abstract

The article discusses radon concentrations measured in the upper and deeper sandy-loam soil air. The conducted research has disclosed that the volumetric activity of radon in soil at various depths depends on soil porosity, ambient temperature, humidity, atmospheric pressure and the density of radium in soil. The paper shows that radon concentrations in soil air is distributed as follows: $3,0 \pm 0,8$ kBq/m³ (0,4 m), $9,0 \pm 2,4$ kBq/m³ (0,6 m), $11,5$ kBq/m³ $\pm 1,2$ (0,8 m). The intensity of exhalation of the respective depths makes $8,0 \pm 0,9$ mBq/m²s, $9,2 \pm 1,3$ mBq/m²s, $10,0 \pm 0,1$ mBq/m²s.

Keywords: ²²²Rn, radon concentrations, soil depth, intensity of exhalation, difference in temperature.