

AEROZOLIO KONCENTRACIJOS ĮTAKA TRUMPAAMŽIŲ RADONO SKILIMO PRODUKTŲ TŪRINIŲ AKTYVUMŲ POKYČIAMS PATALPOSE

Diana Politova¹, Dainius Jasaitis²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ²Dainius.Jasaitis@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjama aerozolio koncentracijos įtaka radono trumpaamžių skilimo produktų tūrinių aktyvumų pokyčiams gyvenamosiose patalpose. Išmatuotos aerozolio dalelių koncentracijos, nustatytos radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento ir laisvosios frakcijos koeficiento vertės esant įprastoms gyvenimo sąlygoms, kai patalpoje padidėja aerozolių dalelių koncentracija, tai yra deginant žvakę ar smilkalus, priūrkius, virtuvėje atsiradus garų gaminant valgį. Nustatyta, kad, padidėjus aerozolio dalelių koncentracijai ore, padaugėja laisvųjų radono trumpaamžių skilimo produktų atomų, prisijungusių prie aerozolio dalelių, todėl fiksuojamas didesnis alfa dalelių tūrinis aktyvumas. Nustatyta neigiama laisvosios frakcijos koeficiento ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento koreliacija. Gauta teigiama radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento ir aerozolio dalelių koncentracijos patalpų ore koreliacija.

Reikšminiai žodžiai: radonas, trumpaamžiai radono skilimo produktai, tūrinis aktyvumas, aerozolis, radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas, laisvosios frakcijos koeficientas.

Įvadas

Vertinant trumpaamžių radono skilimo produktų poveikį žmogaus organizmui, svarbu žinoti, kokia dalis šių produktų atomų yra prisijungusi prie aerozolio dalelių. Radono skilimo produktų inhaliacija priklauso ne tik nuo jų koncentracijos ore, bet ir nuo to, kokia skilimo produktų dalis yra prisijungusi prie aerozolio dalelių (Clavensjo *et al.* 1999).

Radonas – inertinės dujos, todėl jos lengvai patenka į patalpas pro plyšius iš grunto, ant kurio stovi namas, taip pat išsiskirdamas iš statybinių medžiagų ar net iš vandens. Taip susikaupia dideli radono kiekiai ir po jo skilimo susidaro pavojingi trumpaamžių produktų tūriniai aktyvumai, ypač jei patalpos yra nevedinamos (Morkūnas 2000). Kuo ore daugiau aerozolio dalelių, tuo didesnė radono skilimo produktų dalis nusės ant jų, o ne ant baldų, sienų ar užuolaidų. Todėl kambario ore, kuriame yra dulkių, radono trumpaamžių skilimo produktų būna daugiau, negu švaraus kambario ore, kuriame yra toks pat radono kiekis. (Mohamed 2005; Clavensjo *et al.* 1999).

Įkvėpus radono trumpaamžiais skilimo produktų prisotinto oro, jie nusėda ir suskyla kvėpavimo takuose. Tuomet išsiskyrusios alfa dalelės įsiskverbia ir pažeidžia audinius. Visada yra tikimybė, kad, esant net ir labai mažiems skilimo produktų kiekiams patalpose, jų įkvėpus, kvėpavimo takuose įvyks alfa skilimas, pažeidžiantis ląstelę. Be abejonės, kai yra didesni trumpaamžių radono skilimo produktų kiekiai patalpose, ši tikimybė didėja (Lubin 2003).

Radioaktyviosios alfa dalelės pasižymi menka skvarba, bet didele jonizuojančiąja galia. Žmogaus odos epitelis gerai apsaugo nuo išorinio alfa dalelių poveikio, nes sulaiko neskvarbias alfa daleles, tačiau šios dalelės tampa pavojingos, kai patenka į organizmą ir gali pažeisti bronchų epitelio ir plaučių audinio ląsteles.

Radono skilimo produktų poveikis sveikatai labai priklauso nuo jų elgsenos patalpų ore. Skilimo produktai būna dviejų formų: neprisijungusios dalelės, kurių difuzijos ekvivalento skersmuo yra 0,5–5 nm, ir prisijungusios prie aerozolio dalelės, kurių dalelės skersmuo – 5–3000 nm (Mohamed 2005).

Atliekant įvairius ²²²Rn skilimo produktų tyrimus, prisijungę ir neprisijungę prie aerozolio dalelių atomai neatskiriami. Prisijungusių ir laisvųjų atomų kiekius patalpų ore svarbu įvertinti todėl, kad dėl labai skirtingos molekulės difuzijos trumpaamžiai produktai nusėda kvėpavimo takų skirtingose vietose ir skirtingais kiekiais.

²²²Rn produktų kiekiai ir pasiskirstymas aplinkoje labai priklauso nuo pirmojo radono skilimo produkto ²¹⁸Po „elgsenos“. Tokie procesai, kaip klasterio formavimasis, elektros krūvio neutralizacija, prisijungimas prie aerozolio dalelių, nusėdimas ant paviršių, nusako šią elgseną. Dalelės su ²¹⁸Po atomais elektrinis krūvis daro didelę įtaką šiems procesams ir aerozolio dalelių trumpaamžių radono produktų nešiklių spektrui (Porstendorfer 1994).

Po radono skilimo atsiradę ²¹⁸Po jonai dažniausiai yra teigiamai įelektrinti (apie 90 %). Dalis ²¹⁸Po jonų neutralizuojami. ²¹⁸Po prisijungia prie ore normalioje aplinkoje

visada esančių aerolio dalelių. Dalis prisijungusių prie klasterių arba aerolio dalelių ^{218}Po jonų nusėda ant paviršių. Šie prisijungimo prie aerolio dalelių ir paviršių procesai priklauso nuo klasterių ir aerolio dalelių difuzijos bei elektrinių krūvių (Porstendorfer 2005).

Santykį tarp radono ir jo skilimo produktų kiekių apibrėžia radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas (dažnai vadinamas tiesiog F faktoriumi). Šis koeficientas apibūdina radono ir jo skilimo produktų radioaktyviąją pusiausvyrą. Didžiama radono skilimo produktų nusėda ant kambario objektų paviršių, taip pasišalinami iš oro. Tam tikra dalis jų pašalinama ir vėdinant patalpas. Tuomet patalpų ore tarp radono ir jo trumpaamžių skilimo produktų radioaktyviosios pusiausvyros nebus (Li *et al.* 1992).

Radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas išreiškiamas:

$$F = \frac{(0,105C_1 + 0,516C_2 + 0,379C_3)}{C_0}, \quad (1)$$

čia C_0 – radono tūrinis aktyvumas; C_1, C_2, C_3 – ^{218}Po , ^{214}Pb ir $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Po}$ tūriniai aktyvumai ore.

Radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas taikomas santykiui tarp radono ir jo skilimo produktų kiekių apibrėžti. Labiausiai jis priklauso nuo vėdinimo greičio ir aerolio dalelių koncentracijos (Clavensjo *et al.* 1999).

Kitas svarbus parametras, apibūdinantis radono skilimo produktus patalpose, yra laisvosios frakcijos koeficientas, kuris parodo, kokia vieno ar kito radono skilimo produkto dalis patalpos ore yra nenusėdusi ant aerolio dalelių (Yu *et al.* 1996). Dydis, vadinamas i -ojo skilimo produkto laisvosios frakcijos koeficientu, išreiškiamas:

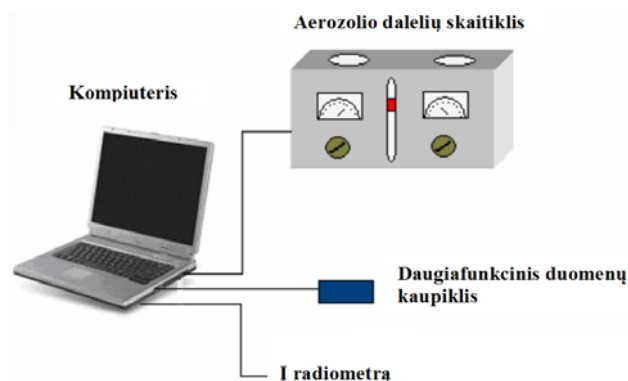
$$f_i = \frac{C_{lyg}^i}{C_i}, \quad (2)$$

čia C_{lyg}^i – i -ojo radono skilimo produkto laisvųjų atomų tūrinis aktyvumas; C_i – radono i -ojo skilimo produkto tūrinis aktyvumas ore.

Šio darbo tikslas – išmatuoti trumpaamžių radono skilimo produktų tūrinius aktyvumus individualiame name, įvertinti aerolio koncentracijos įtaką radono trumpaamžių skilimo produktų tūrinių aktyvumų pokyčiams patalpose, apskaičiuoti radioaktyviosios pusiausvyros koeficientą ir nustatyti jo priklausomybę nuo aerolio koncentracijos patalpose.

Metodika

Aerolio dalelių skaitinei koncentracijai ore nustatyti naudojami skaitikliai. Taikant šį matavimo metodą aerolio dalelių skaitiklis sujungtas su kompiuteriu, į kurį siunčiami ir įrašomi duomenys (Jasaitis 2007). Nenutrūkstamai veikiančio prietaiso duomenys naudojant duomenų kaupiklį ADC-16 kaupiami kompiuteryje. Taip nuolat kontroliuojama aerolio dalelių koncentracija ir jos pokyčiai (1 pav.).



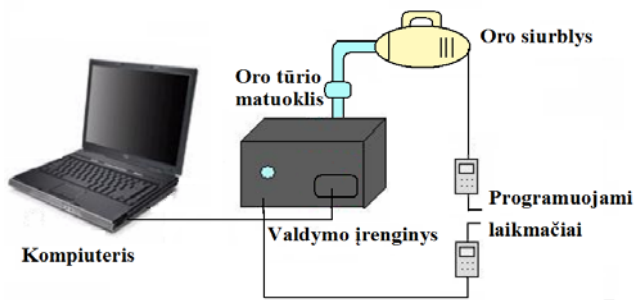
1 pav. Aerolio dalelių koncentracijos matavimo ore metodo schema

Fig. 1. The scheme of aerosol concentration measurement method in the air

Aerolio skaitiklis veikia matuojant atskiros aerolio dalelės šviesos sklaidą. Kadangi egzistuoja ryšys tarp aerolio dalelės matmenų ir jos išsklaidytos šviesos, taip pat galimas dalelių pasiskirstymo pagal dydžius matavimas. Šviesa išsklaidoma bet kokio dydžio aeroliais ir netgi atskiromis dujų molekulėmis. Šviesos jutiklio jautris yra toks, kad patikimai galima matuoti tik atskiras daleles, didesnes už $0,1 \mu\text{m}$. Mažesnių dalelių koncentracijos matuojamos kitais metodais arba pagal didelio dalelių kiekio šviesos suminį išsklaidymą.

Tuo pat metu buvo matuojami trumpaamžių radono skilimo produktų tūriniai aktyvumai. Tam tikslui buvo naudojamas trumpaamžių radono skilimo produktų tūrinių aktyvumų ore nuolatinių matavimų metodas (Jasaitis 2007). Tai hermetiniame metaliniame korpuse įtaisytas radiometras, matuojantis slenkančios filtrinės juostos, pro kurią siurbiamas oras, aktyvumą. Radiometro duomenys visą laiką buvo siunčiami ir įrašomi į kompiuterį. Siurbimo ir juostos persukimo laikai užprogramuoti elektroniniais laikmačiais (2 pav.).

Valdymo įrenginyje (metaliniame korpuse) radiometras įtaisytas taip, kad ties jo matavimo langu slinkto filtro juosta, pro kurią siurbiamas oras. Metaliniame korpuse ($340 \times 230 \times 220 \text{ mm}$) padarytos dvi angos. Pro vieną



2 pav. Trumpaamžių radono skilimo produktų tūrinių aktyvumų ore nuolatinių matavimų metodo schema

Fig. 2. The scheme of radon short-term decay products volumetric activities measurement method in the air

angą yra traukiamas aplinkos oras, prie kitos – prijungtas siurblys. Oro įsiurbimo angos plotis 20 mm. Siurbimo oro srautas 40 l/min., jis kontroliuojamas oro srauto matuokliu. Įrenginio korpuse esantis oras pasikeičia per 25 s. Oras siurbiamas per filtro juostos dalį, kuri yra tarp siurbimo kanalo ir radiometro. Matavimo laikotarpiu juosta sustabdoma. Pasibaigus matavimui juosta automatiškai persukama, kad virš radiometro ir siurblio oro traukimo kanalo atsidurtų šviri, t. y. be raudono trumpaamžių skilimo produktų, filtro dalis. Ant filtro nusėdusių dalelių skleidžiama spinduliuotė matuojama radiometru GM-45. Radiometras įtaisytas taip, kad ties jo matavimo langu (žėručio langelio skersmuo – 42 mm) slinktų filtrinė juosta, pro kurią siurbiamas oras. Radiometro duomenys nenutrūkstamai siunčiami į kompiuterį ir jame kaupiami. Siurbimo ir juostos persukimo laikai užprogramuoti elektroniniais laikmačiais ir įjungiami bei išjungiami pagal programą. Įrenginio darbą programuoti galima įvairiai. Galima keisti siurbimo laiką, matavimo laiką, galima nustatyti, kad matavimas vyktų po siurbimo praėjus tam tikram laikui (pvz.: norint, kad būtų visiškai suskilęs ^{218}Po).

Prie valdymo įrenginio oro srauto jėgimo iš pradžių prijungiant, o vėliau atjungiant laisvųjų atomų ir klasterių surinkiklį nustatomos prisijungusių prie aerozolio dalelių ir laisvų skilimo produktų atomų bei mažų jų klasterių koncentracijos ore. Šį surinkiklį sudaro vielos (skersmuo 0,2 mm) tinklelio paketas, sudarytas iš 10 sluoksnių. Tinklelių paketas įžemintas, kad turintys elektrinį krūvį atomai geriau nusėstų ant vielos paviršiaus. Laisvieji teigiamą krūvį turintys ^{218}Po ir kitų trumpaamžių skilimo produktų atomai bei smulkūs klasteriai dėl didelio judrio nusėda ant tinklelio vielos paviršiaus, tuo tarpu prisijungusieji prie aerozolio dalelių – eina pro tinklelių paketą ir surenkami „Fiberglaz“ juostiniu filtru, kur po radioaktyvaus skilimo užregistruojami radiometru.

Siekiant įvertinti radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento tarp radono ir jo skilimo produktų vertes tirtame

name skirtingais sezonais, matavimai buvo atliekami vienerius metus kiekvieno mėnesio viduryje. Vėliau apskaičiuojamas kiekvieno metų laiko trijų mėnesių matavimų vidurkis.

Rezultatai ir jų analizė

Matavimai buvo atlikti individualiame name, kuris yra Pietryčių Lietuvoje, Šalčininkų rajone, Jašiūnų miestelyje. Namas yra maždaug 100 metrų nuo Lydos plento, apsuptas miškų. Šiaurės pusėje apie 70 metrų nuo namo teritorijos yra šilas, o pietų pusėje apie 30 metrų nuo namo teritorijos teka Merkys ir yra lapuočių miškas. Namas mūrinis, dviejų aukštų. Po visu namu yra rūsys. Amžius – 10 metų.

Pirmaisia visuose namo aukštuose buvo išmatuotas radono skilimo produktų vidutinis tūrinis aktyvumas. Matavimo rezultatai su statistikinėmis paklaidomis pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Trumpaamžių radono skilimo produktų vidutinis tūrinis aktyvumas individualiame name

Table 1. The average volumetric activity of radon short-term decay products in the individual house

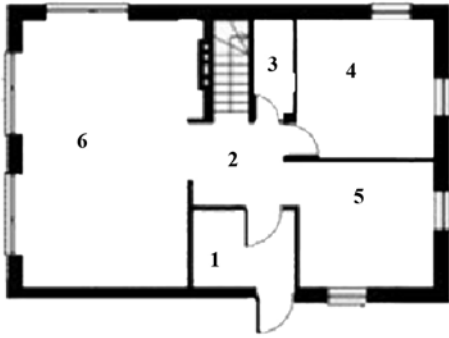
Patalpa	Vidutinis tūrinis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
Rūsys	65 ± 5
1 aukštas	53 ± 4
2 aukštas	39 ± 4

Kadangi vienas didžiausių radono šaltinių yra gruntas, didžiausia radono koncentracija susitelkusi namų rūsiuose arba, jei nėra rūsių, pirmuosiuose namo aukštuose.

Iš gautų rezultatų matyti, kad šiame name ^{222}Rn vidutinis tūrinis aktyvumas yra $52 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Lietuvoje individualiuose namuose išmatuotas ^{222}Rn vidutinis tūrinis aktyvumas yra apie $56 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (Clavensjo *et al.* 1999). Atsižvelgiant į matavimo rezultatus rūsyje, pirmajame ir antrajame aukštuose galima teigti, kad tirtame name pagrindinis radono skilimo produktų šaltinis yra gruntas, esantis po namu.

Tolesni matavimai buvo atliekami namo pirmajame aukšte. Jis pasirinktas, nes šiame aukšte daugiausia laiko praleidžia namo gyventojai. Antrajame aukšte yra miegamieji kambariai. Namo pirmojo aukšto planas pateiktas 3 paveiksle.

Kad būtų galima geriau apibūdinti trumpaamžių radono skilimo produktų elgseną patalpų ore, atlikti tyrimai individualaus namo kambariuose įvairiomis aplinkybėmis, t. y. kambariuose deginant žvakę ar smilkalus, prirūkius, virtuvėje susirinkus garams gaminant valgį. Tokiomis sąlygomis aerozolių dalelių koncentracija patalpoje padidėja.



3 pav. Individualaus namo pirmojo aukšto planas:
1 – prieškambaris; 2 – holas; 3 – tualetas; 4 – virtuvė;
5 – darbo kambarys; 6 – svetainė

Fig. 3. The layout of ground floor in the individual house:
1 – tambour, 2 – hall; 3 – toilet; 4 – kitchen; 5 – workroom;
6 – sitting-room

Pirmasis tyrimas buvo atliktas vienoje individualaus namo pirmojo aukšto patalpoje. Tyrimo metu patalpos temperatūra ir santykinė oro drėgmė buvo gana pastovios – apie 20 °C ir 45 %. Vidutinė aerozolio dalelių koncentracija (Z) patalpoje siekė $1,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$. Aerozolio dalelių koncentracija patalpoje labai padidėjo (iki $1 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$) patalpoje prirūkius, deginant žvakes, smilkalus ir prisirinkus garų gaminant valgį. Vėdinimo greitis patalpoje buvo apie $0,25 \text{ h}^{-1}$. Matavimų rezultatai, esant įprastoms sąlygoms, ir naudojant aerozolio šaltinius, pateikti 2 lentelėje. Joje pateikti matavimų statistiniai vidurkiai. Iš viso buvo atlikti 35 matavimai.

2 lentelė. Aerozolių dalelių koncentracija ore (Z), laisvosios frakcijos koeficientas (f) ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas (F) patalpoje esant skirtingoms sąlygoms

Table 2. Aerosol concentration in the air (Z), unattached fraction factors (f) and radioactive equilibrium factors (F) under the different aerosol conditions indoor

Aerozolio šaltinis	$Z \cdot 10^3, \text{ cm}^{-3}$	f	F
Įprastinės sąlygos	1,2	0,32	0,17
Cigarečių dūmai	90	0,027	0,62
Žvakės	380	0,031	0,32
Smilkalai	120	0,025	0,51
Valgio gaminimas	240	0,043	0,25

Esant įprastinėms aplinkos sąlygoms laisvosios frakcijos koeficiento f vertės kito nuo 0,09 iki 0,70, o vidutinė reikšmė gauta $0,32 \pm 0,02$. Radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento F vidutinė vertė sudarė 0,17, o verčių pasiskirstymas buvo 0,05–0,50. Tokia maža radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vertė buvo dėl mažos aerozolio dalelių koncentracijos patalpų ore. Esant nedidelei aerozolio dalelių koncentracijai patalpoje prie dalelių prisijungia mažai radono skilimo produktų. Todėl po skilimo atsiradę trumpaamžiai radono produktai dau-

giausia yra laisvi, neprisijungę ir nusėda ant paviršių. Tai rodo pusiausvyros nebuvimą tarp radono ir jo skilimo produktų.

Laikui bėgant didelė radono skilimo produktų dalis nusėda ant sienų, baldų ir pan. Tokiu būdu jie pašalinami iš oro. Tam tikra jų dalis pašalinama veikiant vėdinimui. Todėl praėjus ilgesniam laiko tarpui matavimų vertės kinta. Aerozolių dalelių koncentracijos ore, laisvosios frakcijos koeficiento ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento kaita priklausomai nuo laiko pavaizduota 4 paveiksle.

Radono tūriniai aktyvumai C , radioaktyviosios pusiausvyros koeficientai F , laisvosios frakcijos koeficientai f ir aerozolių koncentracija Z ore buvo išmatuoti 6 skirtingose individualaus namo patalpose (taip pat ir pirmajame bei antrajame aukštuose) įvairiomis įprastinėmis sąlygomis (išvėdintoje patalpoje, nevėdintoje patalpoje). Matavimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Radono tūrinių aktyvumų matavimų statistikinės paklaidos siekė iki 15 %. Radono tūrinių aktyvumų vertės kito nuo 18 iki $170 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vertės kito 0,18–0,72, apskaičiuota vidutinė vertė – $0,34 \pm 0,03$. Išmatuotų aerozolio dalelių koncentracijų patalpų ore vidutinė absoliutinė paklaida siekė 8 %. Laisvosios frakcijos koeficiento vertės kito 0,03–0,15, apskaičiuota vidutinė vertė – $0,10 \pm 0,02$.

3 lentelėje matyti, kad radono trumpaamžių skilimo produktų laisvosios frakcijos koeficientai mažesni, kai patalpų ore yra didesnė aerozolio dalelių koncentracija. Iš gautų duomenų nustatyta atvirkštinė priklausomybė tarp laisvosios frakcijos koeficiento ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento (tai matyti 4 pav.), išskyrus tuos atvejus, kai didelės įtakos turi vėdinimas.

Didėjant aerozolio dalelių koncentracijai, didėja radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas, nes prisijungimo procesas tampa greitesnis už neprisijungusių dalelių nusėdimą ant paviršių. Tačiau esant didesnėms aerozolio dalelių koncentracijoms pusiausvyra nėra pasiekama ($F = 1$), nes tam tikra dalis prisijungusių aerozolinių dalelių prarandama dėl nusėdimo ant sienų ir baldų.

4 paveiksle pavaizduotas tipinis laisvosios frakcijos koeficiento ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento pokyčio, keičiantis aerozolio dalelių koncentracijai patalpų ore, pavyzdys.

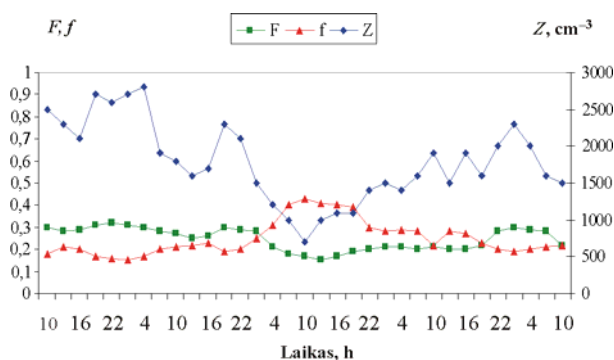
Čia pastebimas laisvosios frakcijos koeficiento didėjimas (nuo 0,15 iki 0,4) mažėjant aerozolio dalelių koncentracijai nuo apytiksliai $2,5 \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$ iki $0,5 \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$. Taip pat matyti, kad sumažėjus aerozolio koncentracijai patalpų ore gaunamos mažesnės radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vertės (0,15–0,2). Naudojant aero-

zolio šaltinius, laisvoji frakcija tampa nežymi, koeficientai siekia 0,03–0,05. Tuo tarpu pusiausvyros faktorius labai didėjo, vertės siekdavo 0,8–0,9, kai kuriais atvejais net iki 0,95.

3 lentelė. Radono tūrinių aktyvumų (C), laisvosios frakcijos koeficientų (f), radioaktyviosios pusiausvyros koeficientų (F) ir aerozolių koncentracijos (Z) ore matavimų rezultatai švariose individualaus namo patalpose

Table 3. The measurement of volumetric activities of radon (C), unattached fraction factors (f), radioactive equilibrium factors (F) and aerosol concentrations in the air in the various accommodations of the individual house

Nr.	$C, \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	f	F	$Z \cdot 10^3, \text{cm}^{-3}$
1	45	0,12	0,72	2,8
2	65	0,09	0,33	3,2
3	18	0,05	0,34	3,8
4	43	0,08	0,37	3,4
5	32	0,08	0,37	3,4
6	105	0,2	0,23	1,7
7	170	0,15	0,18	2,4
8	70	0,03	0,55	4,2



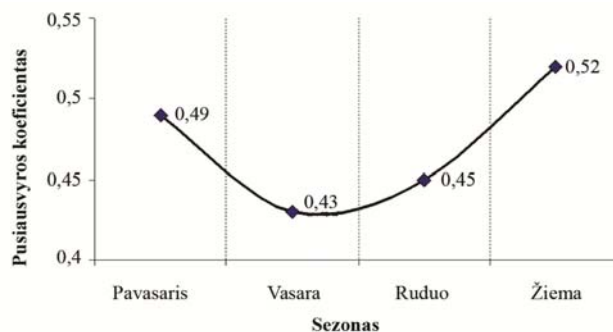
4 pav. Neprisijungusių dalelių ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento pokyčiai, kintant aerozolio dalelių koncentracijai patalpų ore įprastomis sąlygomis

Fig. 4. The variation of unattached fraction and radioactive equilibrium factor during variation of aerosol particles concentration in the air under normal living conditions

Nustatyta, kaip laisvosios frakcijos koeficientas priklauso nuo radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento. Gauta neigiama laisvosios frakcijos koeficiento ir radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento koreliacija, kurią galima išreikšti laipsnine išraiška $f = 0,06 \cdot F^{-0,64}$. Toks ryšys buvo nustatytas atliekant visus matavimus.

Radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas tarp radono ir jo skilimo produktų tirtame name skirtingais sezonais kito nuo 0,43 iki 0,52. Kintant aerozolių kiekiui patalpose, radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas taip pat kinta. Atlikus matavimus prirūkytose patalpose, radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento reikšmės siekė 0,7–0,8.

Radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vidutinės vertės įvairiais metų laikais patalpų ore pavaizduotos 5 paveiksle.



5 pav. Radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas tirtose patalpose pagal sezonus

Fig. 5. The seasonal data of radioactive equilibrium factor in the researched accommodations

Išmatuoti radioaktyviosios pusiausvyros koeficientai yra aukštesni žiemą ir žemesni vasarą. Toks radioaktyviosios pusiausvyros koeficientų pokytis įvairiais metų laikais būna dėl nevienodos ventiliacijos patalpose.

Radioaktyviosios pusiausvyros koeficientai didžiausi žiemą, tada, kai patalpos yra mažai vėdinamos, namai hermetiški. Tai leidžia patalpose kauptis radonui ir jo skilimo produktams, todėl radono ir jo skilimo produktų radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas didėja. Vasarą kambariai būna gerai vėdinami, todėl radono ir jo skilimo produktų radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas būna mažesnis.

Dažniausiai pasikartojanti radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vertė yra 0,4–0,5. Žinant radioaktyviosios pusiausvyros koeficientą, patalpose galima skaičiuoti radono efektingą dozę.

Gautos radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento vertės yra panašios į Olandijoje ir Vokietijoje skaičiuotas vertes (Cavallo 2000; Kreuzer *et al.* 2003). Pastebėta, kad radioaktyviosios pusiausvyros koeficientas šaltuose kraštuose yra aukštesnis nei tropiniuose. Tačiau, žinant plačias radioaktyviosios pusiausvyros variacijas skirtingose vietose, rekomenduojama jį skaičiuoti atskiriems konkrečioms regionams.

Išvados

1. Atsižvelgiant į matavimo rezultatus namo rūsyje, pirmajame ir antrajame aukštuose nustatyta, kad tirtame name pagrindinis radono šaltinis yra gruntas po namu.
2. Individualaus namo įvairiose patalpose išmatuotos laisvosios frakcijos koeficiento vertės kito nuo 0,03 iki 0,15, aerozolio dalelių koncentracija – nuo $1,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$

- iki $3,8 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$, esant įprastoms sąlygoms. Nustatyta, kad didesnis alfa dalelių tūrinis aktyvumas fiksuojamas tuomet, kai padidinus aerozolio dalelių koncentraciją ore padaugeja prisijungusių laisvųjų radono trumpaamžių skilimo produktų atomų prie aerozolio dalelių.
3. Nustatytas teigiamas radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento ir aerozolio dalelių koncentracijos patalpų ore koreliacinis ryšys ($r = 0,9$) bei neigiamas radioaktyviosios pusiausvyros koeficiento ir laisvosios frakcijos koeficiento koreliacinis ryšys ($r = -0,85$).
 4. Išmatuotos pusiausvyros koeficiento vertės normaliai vėdinamose patalpose kito nuo 0,43 iki 0,52, o prirūkytose patalpose dažnai siekė 0,7–0,8, todėl prirūkytose patalpose didesnė tikimybė įkvėpti radono skilimo produktų ir pažeisti organizmą.

Literatūra

- Cavallo, A. 2000. The radon equilibrium factor and comparative dosimetry in homes and mines, *Radiation Protection Dosimetry* 92(4): 295–298.
- Clavensjo, B.; Akerblom, G.; Morkūnas, G. 1999. *Radonas patalpose. Jo kiekio mažinimo būdai*. Vilnius. 126 p.
- Yu, K. N.; Young, E. C. M.; Li, K. C. 1996. A study of factors affecting indoor radon properties, *Health Physics* 71(2): 179–184. doi:10.1097/00004032-199608000-00008
- Jasaitis, D. 2007. *Trumpaamžių radono skilimo produktų tūrinių aktyvumų patalpose tyrimas ir įvertinimas*: daktaro disertacija. Vilnius. 131 p.
- Jasaitis, D.; Girgždys, A. 2007. Hourly measurement method for radon progeny volumetric activity in air, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(3): 158–165.
- Kreuzer, M.; Heinrich, J.; Wölke, G.; Rosario, A.; Gerken, M.; Wellmann, J.; Keller, G.; Kreienbrock, L.; Wichmann, H. 2003. Residential radon and risk of lung cancer in eastern Germany, *Epidemiology* 14(5): 559–568. doi:10.1097/01.ede.0000071410.26053.c4
- Li, C. S.; Hopke, E. K. 1992. Air filtration and radon decay product mitigation, *Indoor Air* 2(2): 84–100. doi:10.1111/j.1600-0668.1992.03-22.x
- Lubin, J. H. 2003. *Studies of radon and lung cancer in north America and China*. National cancer institute, USA, *Radiation Protection Dosimetry* 104(4): 315–319.
- Mohamed, A. 2005. Study on radon and radon progeny in some living rotoms, *Radiation Protection Dosimetry* 105(4): 143–148.
- Morkūnas, G. 2000. *Radono sąlygotos efektinės dozės individualiuose namuose įvertinimas*: daktaro disertacija. Vilnius. 89 p.
- Porstendorfer, J. 1994. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air, *Journal of Aerosol Science* 25(2): 219–263. doi:10.1016/0021-8502(94)90077-9
- Porstendorfer, J.; Pagelkopf, P.; Grundel, M. 2005. Fraction of the positive ^{218}Po and ^{214}Pb clusters in indoor air, *Radiation Protection Dosimetry* 113(3): 342–351. doi:10.1093/rpd/nch465

THE INFLUENCE OF AEROSOL CONCENTRATION ON CHANGES IN THE VOLUMETRIC ACTIVITIES OF INDOOR RADON SHORT-TERM DECAY PRODUCTS

D. Politova, D. Jasaitis

Abstract

The article describes the influence of aerosol concentration on changes in the volumetric activities of indoor radon short-term decay products. The concentration of aerosol in the air, equilibrium factors and unattached fraction were measured under normal living conditions when the concentration of aerosol increases, i.e. burning a candle or frankincense in accommodations, smoke-filled accommodations, a steamy kitchen etc. It has been established that when the concentration of aerosol in the air rises, the number of free atoms of radon short-term decay products attached to aerosol particles also increases, and therefore higher volumetric activity of alpha particles is fixed. A tight positive connection of the correlation between equilibrium factor (F) and aerosol particle concentration in the air of accommodations as well as a negative correlation between unattached fraction and an equilibrium factor have been determined.

Keywords: radon, radon short-term decay products, volumetric activity, aerosols, unattached fraction factor, radioactive equilibrium factor.