



STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ GAMA SPINDULIUOTĖS PATALPOSE TYRIMAS

Petras Vaitiekūnas¹, Daiva Lukošiuūtė²

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos apsaugos katedra,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva
El. paštas: ¹vaitiek@itpa.lt, ²d.lukosiute@panevezys.lt*

Įteikta 2005 05 20, priimta 2005 06 20

Santrauka. Žmonės nuolat yra veikiami jonizuojančiosios spinduliuotės, tačiau poveikio stiprumas ir jo įtaka sveikatai paprastai priklauso nuo radionuklidų kiekio, tipo ir poveikio (radiacinės emisijos) trukmės. Beveik visose uolienose, mineraluose ir dirvose gali būti nedidelis kiekis natūralios kilmės radioaktyviųjų medžiagų. Su statybinėmis medžiagomis šios natūraliai esančios medžiagos patenka į pastatus. Jonizacija yra procesas, kuriame molekulė, gaudama krūvį, įgyja pakankamai energijos, kad išspinduliuotų atomus. Yra trys jonizuojančiosios spinduliuotės rūšys: alfa dalelių, beta dalelių, gama spindulių ir x-spindulių, pastarieji turi daugiau energijos. Kadangi gama spinduliai turi daugiau energijos, jų žala žmogaus organizmui didesnė. Pagal analizuojamo modelio duomenis, gautus iš įvairių tipų esamų struktūrų, bandoma parodyti, kad jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozė, ypač gama spindulių, spinduliuotei veikiant pastato gyventojus iš įvairių pusių, yra tiesiogiai susijusi su radionuklidų, esančių pastatų konstrukcijose, savybėmis.

Raktažodžiai: gamtinės kilmės radionuklidai, išorinė gama apšvita, apšvita patalpose, statybinės medžiagos, apšvitos modeliavimas.

STUDY OF GAMMA RADIATION FROM BUILDING MATERIALS

Petras Vaitiekūnas¹, Daiva Lukošiuūtė²

*Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania
E-mail: ¹vaitiek@itpa.lt, ²d.lukosiute@panevezys.lt*

Received 20 May 2005; accepted 20 Jun 2005

Abstract. People are constantly exposed to ionizing radiation, but generally the amount, type and duration of exposure to radionuclides (radiation emitters) affects the severity or type of health effect. Nearly all rocks, minerals and soil may contain small amounts of naturally occurring radioactive materials, and when they are incorporated into building materials, these naturally occurring radioactive materials are included as well. Ionization is a process in which a charge portion of a molecule is given enough energy to break away atoms. There are three main kinds of ionizing radiation: alpha particles, beta particles, gamma rays and x-rays, with gamma and x-rays having a higher amount of energy. Since gamma rays have a higher amount of energy, they have potential to cause a greater damage on the outside or inside of a human body. A model based on data gathered from different types of structures will try to show that the amount of ionizing radiation, especially gamma rays, that affect residents in various parts of buildings, is directly related to the properties of radionuclides present in building structures.

Keywords: gamma ray exposure, building materials, radiation in dwellings, natural radionuclides, modelling of exposure.

1. Įvadas

Visus gyvuosius Žemės organizmus nuolat veikia jonizuojančioji spinduliuotė iš kosmoso, Žemės plutos, vandens, atmosferos. Šiek tiek gamtinės kilmės radionuklidų yra vartojamame maiste bei geriamajame vandenyje bei visuose organizmuose. Tačiau tik pradėjus jonizuojančiąją spinduliuotę taikyti medicinoje, pramonėje bei karo tikslams, t. y. susidūrus su didesniais dirbtinės kilmės radionuklidų spinduliuotės mastais, sužinota, jog ji gali būti piktybinių navikų, genetinių pakitimų ir kitų ligų priežastis. Tik tuomet pradėta rūpintis riboti įvairių gyventojų grupių gaunamą apšvitos dozę.

Net apie 80 % viso laiko žmogus praleidžia patalpose, todėl čia gaunamas didžiausias gamtinės apšvitos dėl kosminės ir Žemėje esamų radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis [1]. Kosminė spinduliuotė, pasiekianti Žemę iš Visatos ir Saulės paviršinių sluoksnių, palyginti plačiu intervalu kinta tik pagal aukštį nuo jūros lygio, todėl šios prigimties gaunamą apšvitą riboti sunku. Gamtinių Žemės kilmės radionuklidų – daugiausia ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U ir jų skilimo produktų – sausumos grunte, uolienose bei iš jų pagamintose statybinėse medžiagose skleidžiama jonizuojančioji spinduliuotė lemia išorinę žmonių apšvitą. Dėl statybinėse medžiagose esančių radionuklidų aktyvumo išorinės apšvitos mastas priklauso nuo laiko, praleidžiamo patalpose ar lauke. Apšvitos dozių pastato viduje ir atvira ore santykis yra apie 1,4 [1]. Šis dydis labai priklauso nuo statybinių medžiagų rūšies ir pastato sienų storio, nes statybinės medžiagos yra ne tik jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, bet ir ekranas, saugantis žmogų nuo kosminės spinduliuotės poveikio [2].

Pastatų statybinėse konstrukcijose esantys radionuklidai patalpose sukelia gama spinduliuotę. Tai yra didelės energijos elektromagnetinė spinduliuotė. Jos siekis, palyginti su alfa ar beta spinduliuočių, daug didesnis ir ore yra lygus 100 m, akmenyje ar betone – apie 50 cm. 7 cm plytų arba 12 cm grunto sluoksnis sugeria tik 50 % gamtinės gama spinduliuotės, todėl jos kvantai gali pasiekti bei pažeisti bet kurį žmogaus organą ar audinį [3].

Jonizuojančioji spinduliuotė, sąveikaudama su gyvaisiais organizmais, sukelia pakitimus molekulėse ir pažeidžia ląsteles. Po tam tikro laiko ląstelėms pakitus susergama vėžinėmis ligomis. Jei apšvitinamos lytinės ląstelės, paveldimieji efektai gali pasireikšti būsimums kartoms. Jonizuojančiosios spinduliuotės žala priklauso nuo patirtos apšvitos dozės ir jos pasiskirstymo organizme.

Radiacinę saugą tuo atveju, kai žmogų veikia gamtinės apšvitos šaltiniai, reglamentuoja Lietuvos higienos norma HN 85:2003 „Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos“. Šiame norminiame dokumente reglamentuojamos gama spinduliuotės lygiavertės dozės – gyvenamosiose patalpose apšvita turi būti ne didesnė kaip 0,35 $\mu\text{Sv/h}$, o darbo vietose – ne didesnė kaip 0,45 $\mu\text{Sv/h}$ [4].

Šio darbo tikslas – išmatuoti išorinės gama spinduliuotės lygį, nustatyti jos pasiskirstymą stambia-plokščio tipinio gyvenamojo pastato patalpoje. Sudaryti gyventojų išorinės apšvitos patalpose situacijos modelį, pagal kurį

galima būtų įvertinti pastatų konstrukcijose esančių radionuklidų jonizuojančiosios gama spinduliuotės mastą.

2. Eksperimentiniai tyrimai

Eksperimentinis tyrimas atliktas Vilniuje stambia-plokščio 1–464-LI serijos tipinio gyvenamojo pastato 4 aukšto 3,6 × 5,1 × 2,8 m³ dydžio patalpoje. Atliekant matavimus naudota gama ir beta spinduliuotės diapazonų dozės galios matuoklis FH 40G. Tai vartotojui patogus nešiojamasis gama spindulių matuoklis, skirtas sudėtingiems matavimams radiacinės saugos tikslais.

Prieš atliekant detalius matavimus įsitikinta, ar nėra patalpoje ryškių jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių. Pavieniais matavimais daugelyje vietų patikrinta visos patalpos sienos, grindys, lubos bei esantys baldai, įranga.

Matavimai patalpoje atliekami pagal 30 cm žingsnio tinklėlį. Nuolat matuojama, vienoje vietoje atliekant ne mažiau kaip tris matavimus. Galutinis matavimo rezultatas nustatomas vidurkinant bent tris iš eilės matavimų rezultatus.

Apskaičiuojant metinę efektyviąją dozę būtina įvertinti perskaičiavimo į efektyviąją dozę koeficientą bei patalpoje praleisto laiko faktorių. Pagal UNSCEAR rekomendacijas [1] dozių perskaičiavimo koeficientas yra 0,7 Sv/Gy, o buvimo patalpoje trukmės faktorius – 0,8, patalpoje praleista 8760 val. Tuomet vidutinė metinė efektyvioji išorinės gama spinduliuotės dozė patalpoje, kurioje buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, yra 0,78 mSv. Ši dozė apskaičiuota suaugusiems žmonėms. Vaikams ir kūdikiams ji būtų 10–30 % didesnė, nes atitinkamai būtų didesnis ir perskaičiavimo koeficientas.

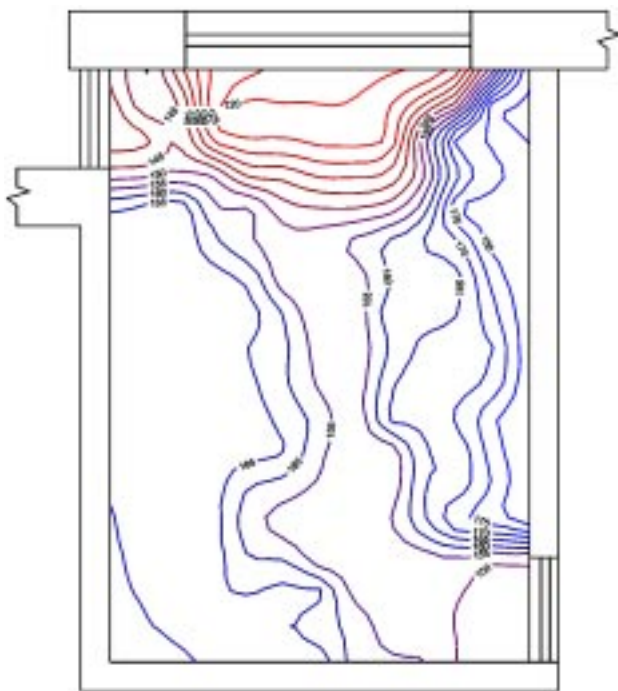
Vidutinė Lietuvos gyventojo per metus gyvenamosiose patalpose gaunama efektyvioji dozė yra 1,5 mSv [3]. Taigi patalpoje, kurioje buvo atliekamas eksperimentinis tyrimas, ši dozė yra net 48 % mažesnė už vidutinę.

Gama spinduliuotės dozės galios, matuojamos patalpoje, dalį sudaro ir kosminė spinduliuotė. LR sveikatos apsaugos ministerijos Radiacinės saugos centre buvo apskaičiuota, kad Lietuvoje kosminės spinduliuotės lauke išorinės gama spinduliuotės dozės galia yra 33 nGy/h. Nustatyta, kad į betoninių pastatų patalpas 1–3 aukštuose patenka 66 %, o 4–6 aukštuose – 72 % kosminės spinduliuotės. Kadangi eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami 4-ame pastato aukšte, grunto nesugertos spinduliuotės dalis yra nedidelė, ir todėl šiame darbe neįvertinama. Pagal apskaičiuotus matavimo rezultatus nubraižytos išorinės apšvitos lygiavertės dozės dėl pastato statybinių medžiagų įtakos patalpoje pasiskirstymo izolinijos. Tai atliekama naudojantis kompiuterine programa *Surfer* (1 pav.).

Kaip matome iš 1 pav., didžiausios išorinės apšvitos lygiavertės dozės yra patalpos kampuose, o mažiausios – prie langų, durų bei patalpos viduryje.

3. Išorinės apšvitos patalpose modeliavimas

Išorinės gama spinduliuotės apšvitos patalpose modeliavimo pradininkai yra mokslininkai R. Mustonen,



1 pav. Išorinės apšvitos lygiavertės dozės galios (nSv/h) patalpoje pasiskirstymo izolinijos pagal eksperimentinio tyrimo duomenis

Fig 1. Distribution of exposure rate (nSv/h) indoors by experimental data

L. Koblinger, E. Strandén. Jie analizavo statybinių medžiagų įtaką patalpose žmonių gaunamoms apšvitos mastams. Įvertinant galimą apšvitą patalpose dėl pastato konstrukcijų statybinių medžiagų, atskirai modeliuojama išorinė gama spinduliuotės apšvita ir išsiskiriančio radono koncentracija. Paprastai statybinėse medžiagose dirbtinių radionuklidų kiekis nėra didelis, todėl pakanka įvertinti tik ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K koncentracijas. Apšvitos patalpose lygis priklauso nuo esamų šių radionuklidų koncentracijų medžiagose bei patalpos geometrinių veiksnių.

Žmogaus apšvitos dozei, gaunamai tam tikroje patalpoje, įvertinti literatūroje dažnai taikomas „standartinio kambario“ modelis. Skirtingų mokslininkų sumodeliuotos išorinės gama spinduliuotės apšvitos „standartiniame kambaryje“ rezultatai pateikti lentelėje, jie vieni nuo kitų skiriasi ne daugiau kaip 8 %.

Suomių mokslininkas M. Markkanen patobulino anks-

Išorinė apšvita patalpos (4×5×2,8 m³) viduryje, kai sienų storis 20 cm [5]

Specific exposure rates in the middle of a room (4×5×2,8 m³) at concrete wall thickness of 20 cm [5]

Šaltinis	Išorinės apšvitos dozė, μR×h ⁻¹ /Bq×kg ⁻¹		
	²³⁸ U- ²⁰⁶ Pb	²³² Th- ²⁰⁸ Pb	⁴⁰ K
L. Koblinger	0,106	0,117	0,00895
E. Strandén	0,105	0,127	0,00892
R. Mustonen	0,106	0,126	0,00927

čiau taikytas metodikas. Modeliuojant šiame darbe remtasi jo metodu. Sugertoji dozė patalpos ore dėl viršutiniame sienos sluoksnyje esančių radionuklidų įtakos tam tikrame taške $P(x_p, y_p, z_p)$ gali būti skaičiuojama pagal formulę [6]:

$$D_1 = 5,77 \cdot 10^{-7} \frac{C_1 \rho_1}{4\pi} \left[\sum \gamma_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_i E_i \right] B_i(1) \frac{e^{-\mu_i(1)s_1}}{l^2} dV \tag{1}$$

bei

$$B_i(1) = 1 + C(E_i) \mu_i(1) s_1 e^{D(E_i) \mu_i(1) s_1}, \tag{2}$$

$$s_1 = \left| \frac{z}{z_p - z} \right| l, \tag{3}$$

$$l = \sqrt{(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (z_p - z)^2}, \tag{4}$$

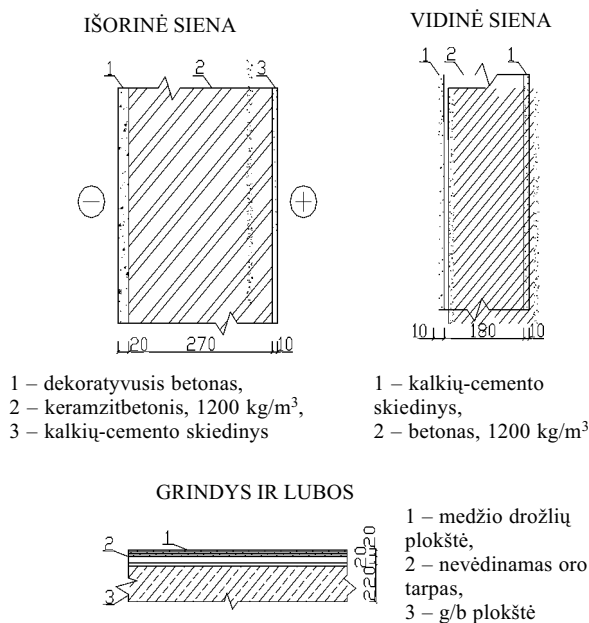
čia D_1 – sugertosios dozės galia, nGy/h, $B_i(1)$ – patalpos formą įvertinantis veiksnys, C_1 – sienos konstrukcinės medžiagos savitasis aktyvumas, Bq kg⁻¹, ρ_1 – sienos konstrukcinės medžiagos tankis, kg m⁻³, γ_i – gama spindulių iš radionuklido intensyvumas, E_i – gama spindulių energija, MeV, $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_i$ – energijos absorbcijos ore koeficientas, cm²g⁻¹, $\mu_i(l)$ – gama spindulių energijos ilginio silpimo sienos konstrukcijoje koeficientas, cm⁻¹, $C(E_i)$, $D(E_i)$ – koeficientai pagal Berger modelį, l – atstumas tarp skaičiuojamojo taško patalpoje $P(x_p, y_p, z_p)$ ir sienos konstrukcijos, cm.

Šiame modelyje atliekami ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K radionuklidų lemiamos išorinės gama spinduliuotės apšvitos skaičiavimai. Tūrinis integralas skaičiuojamas naudojantis skaičiavimo ir matematinio modeliavimo programų paketu *MathCAD*.

Patalpoje išskiriami 7 konstrukciniai blokai (5 sienos dalys, lubos, grindys). Jų išorinė apšvita skaičiuojama atskirai, o tada sumuojama skirtinguose taškuose. Analizuojamos patalpos statybinės konstrukcijos pavaizduotos 2 pav.

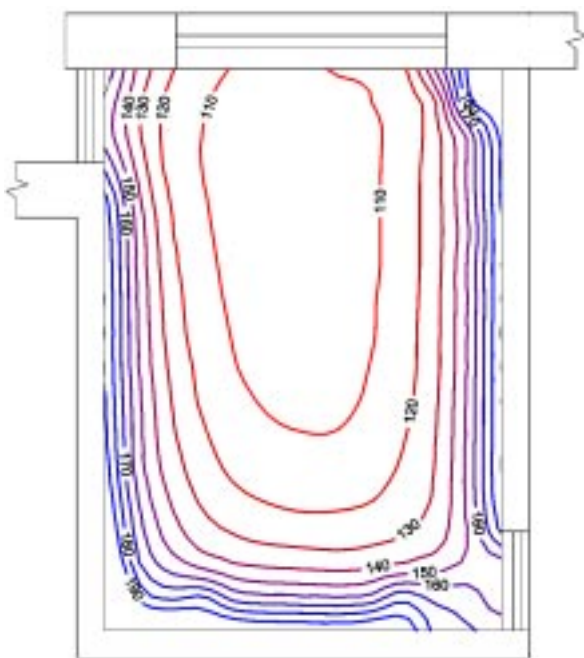
Išorinė gama spinduliuotės apšvita dėl pastato konstrukcijose esančių radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės nustatoma 234 patalpos taškuose. Pagal apskaičiuotas pavienių taškų vertes braižoma išorinės gama spinduliuotės apšvitos patalpoje pasiskirstymo izolinijos (3 pav.).

Pagal modeliavimo duomenis vidutinė lygiavertė efektyvioji dozė patalpoje yra 140 nSv/h, t. y. 3,6 % didesnė nei išmatuota. Taigi šis modelis leidžia pakankamai tiksliai vertinti išorinę gama spinduliuotės apšvitą patalpose, taip pat jos pasiskirstymo tendencijas. Taigi išorinę apšvitą galima įvertinti netgi jos nematuoju, pavyzdžiui, tirdami patalpą galime pakeisti statybinių konstrukcijų medžiagas modelyje ir sužinoti, kokia tuomet būtų apšvita. Taigi vietoj keramzitbartonio panaudojant keramines plytas gyven-



2 pav. Modeliuojamos patalpos statybinės konstrukcijos

Fig 2. Building structures for a modelled room

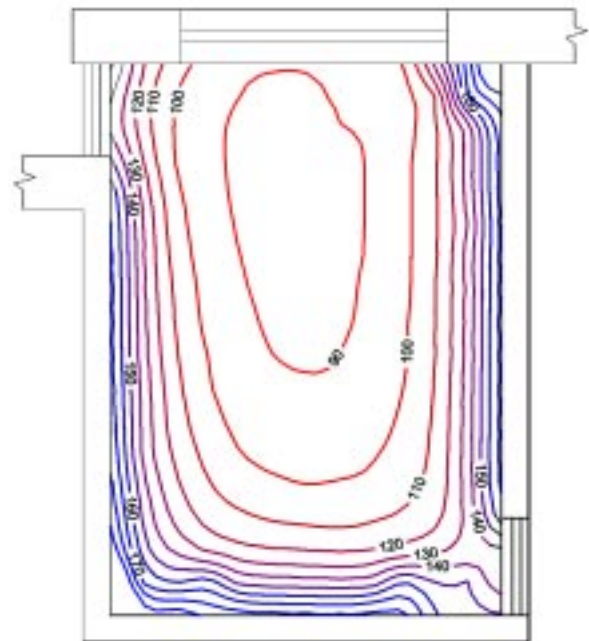


3 pav. Išorinės apšvitos lygiavertės dozės galios (nSv/h) patalpoje pasiskirstymo izolinijos pagal modeliavimo duomenis (keramzitbetonis)

Fig 3. Distribution of exposure rate (nSv/h) indoors by modelling data (expanded clay concrete)

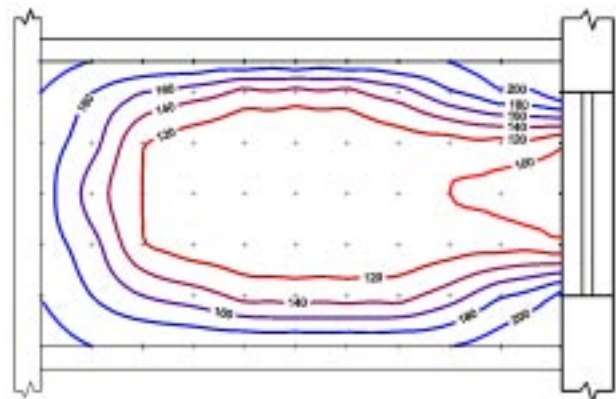
tojų gaunama apšvita pakistų (4 pav.). Tokiu atveju vidutinė lygiavertės efektyviosios dozės galia – 123 nSv/h. Tai gi išorinė gama spinduliuotės apšvita sumažėja 12 %.

Šie modeliai sudaryti horizontaliojoje plokštumoje, 1 m nuo grindų aukštyje. Vertikalusis išorinės apšvitos pasiskirstymas patalpoje pavaizduotas 5 pav. Apšvitos pasiskirstymo patalpoje tendencijos išlieka tos pačios – di-



4 pav. Išorinės apšvitos lygiavertės dozės galios (nSv/h) patalpoje pasiskirstymo izolinijos pagal modeliavimo duomenis (keraminės plytos)

Fig 4. Distribution of exposure rate (nSv/h) indoors by modelling data (ceramic brick)



5 pav. Išorinės apšvitos lygiavertės dozės galios (nSv/h) patalpoje pasiskirstymo vertikaliajame pjūvyje izolinijos pagal modeliavimo duomenis (keramzitbetonis)

Fig 5. Sectional view of distribution of exposure rate (nSv/h) indoors by modelling data (expanded clay concrete)

džiausioji apšvita yra prie patalpos atitvarų, o mažiausioji – prie lango, durų bei patalpos viduryje.

4. Išvados

1. Kaip rodo atlikti eksperimentiniai tyrimai, vidutinė efektyviosios dozės galia patalpoje – 159 nSv/h. Dėl statybinių medžiagų įtakos ši dozės galia yra apie 135 nSv/h.

2. Didžiausioji išorinės lygiavertės dozės galia yra patalpos kampuose, o mažiausioji – prie langų, durų bei patalpos viduryje. Ši pasiskirstymą lemia oro judėjimo srautai patalpoje. Be to, arčiau sienų apšvita yra didesnė dėl statybinėse konstrukcijose esančių radionuklidų įtakos.

3. Pagal modeliavimo duomenis vidutinė lygiavertė efektyvioji dozės galia dėl statybinių medžiagų įtakos yra apie 140 nSv/h, t. y. 3,6 % didesnė nei išmatuota.

Literatūra

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, Vol I. United Nations, 2000. 29 p.
2. Nedveckaitė, T. Radiacinė sauga Lietuvoje. Vilnius: Kriventa, 2004. 240 p.
3. Clavensjo, B.; Akerblom, G.; Morkūnas, G. Radonas patalpose. Jo kiekio mažinimo būdai. Vilnius: Litimo, 1999. 128 p.
4. HN 85:2003. Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos. Vilnius: LR Sveikatos apsaugos ministerija, 2003. 6 p.
5. Mustonen, R. Methods for evaluation of radiation from building materials. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 7(4), 1985, p 235–238.
6. Markkanen, M. Calculation of external gamma dose rate. Finnish centre for radiation and nuclear safety, 1999. 40 p.

Petras VAITIEKŪNAS, Dr Habil, Prof, Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Doctor Habil of Science, (energy and thermal engineering) 1999. Doctor of Science (1972), Laboratory of Fluid Dynamics in Heat Exchangers, Lithuanian Energy Institute, Kaunas. Employment: Professor (2002), Associate Professor (1997). Publications: author of 2 monographs, over 190 scientific publications. Work on probation: Prof. D. Brian Spalding, Concentration, Heat & Momentum Limited, Bakery House, 40 High Street, Wimbledon Village, London SW19 5AU, UK (PHOENICS 1.4 EP CFD, January – February 1996, and PHOENICS 3.1 VR CFD, April–May 1998). Membership: corresponding Member of International Academy of Ecology and Human Protection. Research interests: hydrodynamics, convective heat transfer and thermophysics, computational fluid dynamics, modeling transfer processes in the environment.

Daiva LUKOŠIŪTĖ, Master student, Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University. Bachelor of Science (environmental engineering), VGTU. Research interests: environmental protection.