



LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS PAŽEMIO ORE ŠALIA LIETUVOS MAGISTRALIŲ MATAVIMO IR MODELIAVIMO REZULTATAI

Donatas Butkus, Kristina Živilė Gaponovienė

*Aplinkos apsaugos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva. El. paštas: butkus@ap.vtu.lt*

Įteikta 2005 09 26; priimta 2005 11 04

Santrauka. Nagrinėjama gama spinduliuotės sukelta lygiavertės dozės galia (LDG) pažemio ore. Gama spinduliuotės svorinis daugiklis lygus vienetui, taigi LDG pažemio ore tapati sugertosios dozės galiai. Straipsnyje įvardyti ir išanalizuoti pagrindiniai parametrai, lemiantys LDG pažemio ore šalia Lietuvos magistralių. Nustatytosios LDG pažemio ore šalia Lietuvos magistralių vertės palygintos su modeliavimo rezultatais, įvertintos verčių kaitos priežastys.

Ekspedicijų metu žiemą ir vasarą nustatytos LDG pažemio ore vertės šalia magistralių pasirinktose vietovėse. Atlikti dirvožemio bei asfalto mėginių gama spektrometriniai tyrimai. Nustatyta, kad LDG pažemio ore vertės priklauso nuo dirvožemio sudėties, augalijos ar sniego dangos bei atstumo nuo asfalto dangos. Didžiausios įtakos turi dirvožemyje esančių gamtinės kilmės radionuklidų gama spinduliuotė.

Modeliavimo programa *VISIPLAN* nustatyta radionuklidų, esančių asfalto dangoje, spinduliuotės įtaka LDG formavimuisi pakelės zonoje. Modeliavimo programa *InterRAS* nustatyta LDG pažemio ore, lemiama dirvožemyje esančių radionuklidų spinduliuotės.

Prasminiai žodžiai: lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore, gama spinduliuotė, radionuklidas, gama spektrometriniai tyrimai, modeliavimo programos *VISIPLAN* ir *InterRAS*.

INVESTIGATION OF EQUIVALENT DOSE RATE VARIATION IN THE GROUND-LEVEL AIR BY LITHUANIAN HIGHWAYS

Donatas Butkus, Kristina Živilė Gaponovienė

*Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania. E-mail: butkus@ap.vtu.lt*

Submitted 26 Sept 2005; accepted 4 Nov 2005

Abstract. This investigation deals with equivalent dose rate (EDR) of the ground-level air caused by gamma radiation. Weighting factor for gamma radiation is equal to one, therefore, EDR of the ground-level air should be similar to the absorbed dose from the ionic radiation dose. In this paper the main parameters which determine the level of equivalent dose rate in the ground-level air by the Lithuanian highways are defined and analysed. EDR in the ground-level air by Lithuanian highways was measured and compared to similar average regional values with reference to modeling results evaluating value variation reasons.

In the investigation of EDR the ground-level air was measured in winter and summer. Samples of soil and asphalt were examined with a gamma spectrometer. It was determined that dependence of EDR values in the ground-level air correlated and depended upon the soil composition, floral or snow cover and distance from an asphalt cover. Cosmic radiation impact on EDR formation is equal at all the locations. Gamma radiation of natural-origin radionuclides in the soil have the greatest influence on EDR formation in the ground-level air.

The modeling program *VISIPLAN* was used to define impact of radionuclide radiation from an asphalt cover on EDR formation in a roadside zone. The modeling program *InterRAS* was used to define EDR formation in the ground-level air due to gamma radiation of the soil radionuclides.

Keywords: equivalent dose rate (EDR) in the ground-level air, gamma radiation, radionuclide, gamma spectrometer, modeling program *VISIPLAN*, modeling program *InterRAS*.

1. Įvadas

Radionuklidų yra visur – aplink mus ir mummyse. Gamtinės kilmės radionuklidai atsirado kartu su Visata, tai mūsų planetos dalis [1]. Aplinkoje yra natūralios ir dirbtinės kilmės radionuklidų, kurie skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę ir sukuria lygiavertę dozės galią (LDG) pažemio ore. LDG pažemio ore lemia ne tik radionuklidų, esančių ore ir žemės paviršiuje, jonizuojančioji spinduliuotė, bet ir kosminė spinduliuotė [2]. Iš gamtinės kilmės radionuklidų ^{40}K savitasis aktyvumas dirvožemyje yra didžiausias [3]. LDG pažemio ore, sukelta kosminės spinduliuotės, šiaurės pusrutulyje jūros lygyje yra $32 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ [4]. Lygiavertės dozės galia – svarbus parametras, atspindintis jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį žmogui [5].

Gama spinduliuotės svorinis daugiklis lygus vienetui [6], taigi LDG pažemio ore tapati sugertosios dozės galiai.

Nagrinėjamas LDG formavimasis pažemio ore šalia Lietuvos magistralių. Siekiama nustatyti, kiek ir kodėl LDG pažemio ore šalia magistralių skiriasi nuo LDG pažemio ore verčių regionuose, kuriuose driekiasi magistralės. Modeliuojant bandoma įvertinti asfalto dangos medžiagose esančių radionuklidų spinduliuotės įtaką LDG pažemio ore.

Darbe nustatytosios LDG pažemio ore šalia magistralių vertės gali būti naudojamos kaip atskaitos sistemos vertės tiriant įvykius, susijusius su tose vietovėse padidėjusia tarša radioaktyviosiomis medžiagomis. Lyginant fonines ir po papildomos taršos radioaktyviosiomis medžiagomis LDG vertes, įmanoma nustatyti taršos mastus.

LDG pažemio ore šalia magistralių kaitos priežastys gali būti kitos negu tokias pat vertes lemiančios priežastys regionuose, esančiuose toliau nuo kelių. Siekiama nustatyti pagrindines LDG kaitos šalia magistralių priežastis bei kitimo ribas. LDG pažemio ore šalia magistralių vertės nustatomos eksperimentiškai ir lyginamos su vidutinėmis vertėmis, būdingomis regionui. Tyrimai atlikti žiemą ir vasarą, todėl rezultatai rodo lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore kaitą priklausomai nuo metų laiko.

Darbo tikslas – išmatuoti LDG pažemio ore šalia Lietuvos magistralių vertes, jas palyginti su atitinkamomis vidutinėmis vertėmis regione, remiantis modeliavimo rezultatais įvertinti kaitos priežastis.

2. Darbo metodika

Toliau pateikta darbo metodika:

- LDG pažemio ore šalia magistralių tyrimas;
- radionuklidų savitųjų aktyvumų nustatymas dirvožemio ir asfalto mėginiuose;
- LDG pažemio ore sklaidos nuo asfalto dangos modeliavimas;
- radionuklidų, esančių dirvožemyje, jonizuojančiosios spinduliuotės sukeltos LDG nustatymas.

LDG pažemio ore nustatyta šalia magistralių A6 **Kaunas – Zarasai** ir A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga**. Tyrimų rezultatai palyginti su rezultatais, gautais kitose magistralėse. Matavimo vietovės parinktos skirtingų landšaftinių sąlygų.

Toje pat vietoje matuojama bent tris kartus iš eilės. Nustatoma kiekvienos bandymų serijos LDG pažemio ore vidutinė vertė ir vidutinis kvadratinis nuokrypis.

Matuojama gyvenviečių prieigose, taip pat skirtingo reljefo sąlygomis. Skersinį profilį sudaro 5 vietos, nuo važiuojamosios kelio dalies nutolusios 7,5; 20; 50; 100 ir 150 m atstumu. Matavimo vietose parenkami trys ruožai magistralių pakelių zonose, abiejose kelio pusėse.

Navigaciniu eTrex GPS imtuvu nustatomos tiriamosios vietos koordinatės penkių metrų tikslumu.

LDG pažemio ore matuota *scintiliaciniu radiometru SRP-88 N*. Prietaisas pritaikytas dirbti lauko sąlygomis, maitinamas elektros baterijomis, nešiojamas. Pagrindiniai parametrai:

- energinis registracijos slenkstis – 30 keV;
- santykinė matavimų paklaida – 10 %;
- vieno matavimo laikas – 10 s;
- detektoriaus kristalo (NaJ (Tl)) matmenys – $25 \times 40 \text{ mm}$.

Prietaisas patogus nepertraukiamam zondavimui, nes apie lygiavertės dozės galios kaitą galima spręsti pagal rodyklinį indikatorius, kuris nuolat reaguoja į jonizuojančiąją spinduliuotę aplinkoje.

Galutinė rodmenų LDG pažemio ore nustatymo formulė yra:

$$\dot{H} = \frac{9 \cdot 10^3 N}{3,74}, \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}, \quad (1)$$

čia \dot{H} – LDG pažemio ore; N – prietaiso rodmenys.

Tose vietose, kuriose LDG pažemio ore matavimo vertės buvo didžiausios, dirvožemio mėginiai paimti radiometriniais tyrimams. Dirvožemio mėginiai tirti Fizikos institute, o asfalto mėginiai – Radiacinės saugos centre. Taikyta gama spektrometrinė sistema su labai gryno germanio koaksialiu detektoriumi. Asfalto mėginiai prieš tyrimą susmulkinti. Pasirinktos 500 ml Marinelli tipo kiuvetės. Jos pilnai pripildytos susmulkinto asfalto ar dirvožemio mėginių.

Pagal gautus savitųjų aktyvumų mėginiuose rezultatus nustatyta, kad nėra radioaktyviosios pusiausvyros tarp ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi , todėl ^{226}Ra savitasis aktyvumas skaičiuotas kaip ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi savitųjų aktyvumų vidurkis. Tiksliai radioaktyvioji pusiausvyra nenustatyta tarp ^{232}Th ir jo skilimo produkto ^{208}Tl savitojo aktyvumo. Jų savitųjų aktyvumų santykis laikytas 1,6 [7].

Pagal radionuklidų savituosius aktyvumus asfalto bandinių užterštumo radionuklidais lygis vertintas remiantis aktyvumo rodikliu pagal HN 85:2003 [6]. Be apribojimų, bet kokiais kiekiais galima naudoti statybines medžiagas ir statybos produktus, jeigu aktyvumo rodiklis yra [6]:

$$I = \frac{a_{\text{Ra}}}{300} + \frac{a_{\text{Th}}}{200} + \frac{a_{\text{K}}}{3000} \leq 1, \quad (2)$$

čia a_{Ra} , a_{Th} , a_{K} – ^{226}Ra , ^{232}Th ir ^{40}K savitieji aktyvumai, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

LDG pažemio ore susidarymui ir sklaidai nuo asfalto dangos modeliuoti naudojama *VISIPLAN* programa. Šia programa modeliuojamas LDG ($\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) susidarymas nuo

apšvitos šaltinių, kurie yra apriboti erdvėje, nurodant juose esančių radionuklidų savituosius aktyvumus. Sudaryti keli skirtingos geometrijos modeliai.

Kiekvienam šaltiniui taikant 1000 taškų tikslumą, modeliavimo paklaida gali siekti iki 30 %.

LDG pažemio ore ekspedicijų metu matuota šalia magistralių 1 m atstumu nuo žemės paviršiaus. Taigi modeliuose horizontalusis atstumas nuo šaltinio nurodytas 7,5 m, o vertikalusis – 1 m.

Modeliuojamos LDG pažemio ore vertės lyginamos su matuojant gautomis vertėmis.

LDG pažemio ore lemia dirvožemyje esančių radionuklidų jonizuojančioji spinduliuotė, modeliuojama pagal *InterRAS* programą. Modeliuojant *InterRAS* programa gaunama LDG pažemio ore pagal dirvožemio mėginiuose esančių radionuklidų aktyvumus ploto vienetu. Pagal spinduliuotės silpimą sumodeliuotos LDG pažemio ore vertės yra sumažintos, atsižvelgiant į ją lemiančio konkretaus radionuklido energiją ir į tai, kokio storio dirvožemio sluoksnis ekranuoja spinduliuotę. Spinduliuotės silpimas pagal jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinio gylį dirvožemyje nustatytas pagal formulę [7]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (3)$$

čia I – spinduliuotės intensyvumas; I_0 – spinduliuotės intensyvumas prieš dirvožemio sluoksnį; μ – spinduliuotės silpninimo koeficientas; x – dirvožemio sluoksnio storis.

Remiantis (3) formule matyti, kad jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumas, jai skverbiantis pro dirvožemį, silpnėja. Modeliuojant LDG pažemio ore, programoje *InterRAS* laikoma, kad visi radionuklidai yra dirvos sluoksnio paviršiuje. Todėl modeliuojant LDG pažemio ore iš gilesnių dirvožemio sluoksnių vertes, reikia atsižvelgti į tai, kad dirva silpnina jonizuojančiąją spinduliuotę. Jonizuojančiosios spinduliuotės silpimo dirvožemyje priklausomybė nuo spinduliuotės energijos matyti iš 1 pav. duomenų.

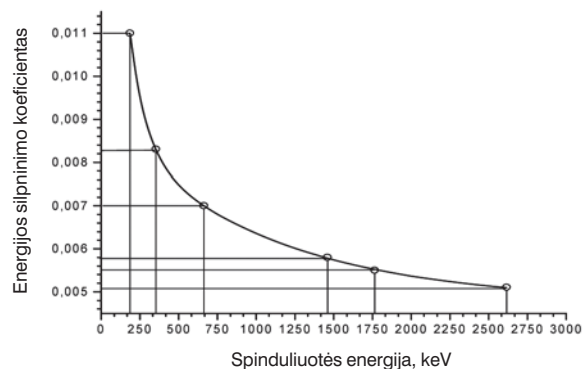
10 % LDG pažemio ore vertė kyla dėl ore esančių ^{241}Pb ir ^{214}Bi jonizuojančios spinduliuotės [2].

3. Darbo rezultatai

LDG pažemio ore vertės magistralių regionuose nustatytos remiantis 2001 m. sudarytu LDG pažemio ore verčių pasiskirstymo žemėlapiu [7]: magistralės A6 **Kaunas – Zarasai** – 90–110 nSv·h⁻¹, magistralės A11 **Šiauliai – Panevėžys – Palanga** – 86–110 nSv·h⁻¹.

LDG pažemio ore pasiskirstymas nagrinėjamas pagal matavimo žiemos ir vasaros ekspedicijose rezultatus. LDG pažemio ore vertės šalia magistralės A6 matavimo vietoje ir vasarą, ir žiemą su tam tikromis paklaidomis yra artimos vidutinėms, 2001 m. nustatytoms tuose regionuose. LDG pažemio ore vertės šalia magistralės A11 matavimo vietoje vasarą su tam tikromis paklaidomis vidutinėms vertėms, 2001 m. nustatytoms tuose regionuose, yra artimesnės negu žiemą.

Vidutinės LDG pažemio ore vertės magistralėse A6 ir A11 7,5 ir 20 m atstumais nuo asfalto su tam tikromis



1 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, tiriant priemėlį

Fig 1. Dependence of coefficient μ on energy for sandy loam

paklaidomis nesiskiria, bet kartu yra didesnės nei vertės, gautos išmatavus toliau nuo asfalto dangos. A6 magistralėje – žiemą 3 %, vasarą – 2 %, atitinkamai A11 magistralėje žiemą – 1 %, vasarą – 2 %.

Vidutinės LDG prie žemės paviršiaus vertės šalia magistralių priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja ir žiemą, ir vasarą. Didžiausioji vidutinė vertė nustatyta 7,5 m atstumu nuo asfalto.

A11 magistralės matavimo vietose LDG pažemio ore vertės vasarą nustatytos vidutiniškai 13 % didesnės negu matuojant žiemą. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus – ^{222}Rn ekshaliaciją iš grunto – kartu sumažėjo LDG ore vertės. Iš to išeina, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, lemia radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė. Be to, tai reiškia, kad matavimo vietose arti magistralės nebuvo lokalių radioaktyviųjų medžiagų taršos šaltinių.

Didžiausieji LDG pažemio ore verčių, gautų žiemą ir vasarą, skirtumai yra A11(3) ir A11(4) simboliais pažymėtose vietovėse. Šiose vietovėse sniego dangos storis buvo atitinkamai 15 cm ir 16,5 cm – didesnis nei kitose šių magistralių matavimo vietovėse.

Pagal radiometrinių tyrimų rezultatus nustatyta, kad tirtųjų asfalto mėginių radionuklidų aktyvumo rodikliai yra mažesni už vieną ((2) formulė). Vadinas, statybines medžiagas ir statybos produktus galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

Lentelėje palyginami radionuklidų savitųjų aktyvumų dirvožemio ir asfalto dangos bandiniuose duomenys.

Iš lentelės duomenų matyti, kad ^{226}Ra savitasis aktyvumas asfalto dangoje 130 % didesnis negu ^{226}Ra vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje Lietuvoje. ^{40}K savitasis aktyvumas asfalto dangoje 58 % didesnis negu tirtose vietose pakelių dirvožemyje ir 23 % didesnis nei vidutiniškai Lietuvoje. Dirbtinės kilmės radionuklidų asfalto dangoje neaptikta arba buvo mažiau už išmatuojamą aktyvumą.

^{226}Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje A6(1), A6(2) ir A6(3) matavimo vietose viršija vidutinės savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: šalia A6(1) – apie 19 %, šalia

Radionuklidų savitųjų aktyvumų dirvožemio ir asfalto bandiniuose palyginimas

Radiometric results for soil and asphalt

Radio-nuklidai	Vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje Lietuvoje, Bq·kg ⁻¹	Savitasis aktyvumas tirtuose dirvožemio mėginiuose, Bq·kg ⁻¹				Savitasis aktyvumas tirtuose asfalto mėginiuose, Bq·kg ⁻¹			
		A6(1)	A6(2)	A6(3)	A11(8)	1 bandinys Fr 11	2 bandinys Fr 11	3 bandinys Fr 16	4 bandinys Fr 16
²²⁶ Ra	11,0 ± 11,0	13,1 ± 1,3	17,5 ± 2,0	13,2 ± 1,4	26 ± 3	24,3 ± 6,8	21,9 ± 8,5	24,9 ± 7,3	29,9 ± 6,4
²⁰⁸ Tl	6,0 ± 8,0	6,1 ± 0,6	5,9 ± 0,8	2,4 ± 0,4	11 ± 1	6,23 ± 9,1	5,63 ± 10,5	5,58 ± 10,8	6,29 ± 8,7
²²⁸ Ac		18,1 ± 2,6	17,0 ± 2,9	11,8 ± 2,2	28 ± 4				
⁴⁰ K	540 ± 360	360 ± 10	380 ± 10	396 ± 10	549 ± 13	542 ± 7,2	560 ± 7,4	775 ± 7,3	777 ± 7,2
¹³⁷ Cs	22 ± 20	8,7 ± 0,5	3,7 ± 0,8	2,1 ± 0,5	9 ± 1				

A6(2) – apie 59 %, šalia A6(1) – apie 20 %. ²⁰⁸Tl savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia A6(1) apie 2 % viršija vidutinės savitojo aktyvumo vertes, nustatytas Lietuvoje. Radionuklidų ²²⁶Ra, ²⁰⁸Tl ir ⁴⁰K savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia A11(8) viršija vidutinės savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ²²⁶Ra – apie 136 %, ²⁰⁸Tl – apie 83 %, ⁴⁰K apie 2 %. Pagal radionuklidų savitųjų aktyvumų dirvožemyje vertes matyti dirvožemio sudėties matavimo vietose šalia magistralių savitumas.

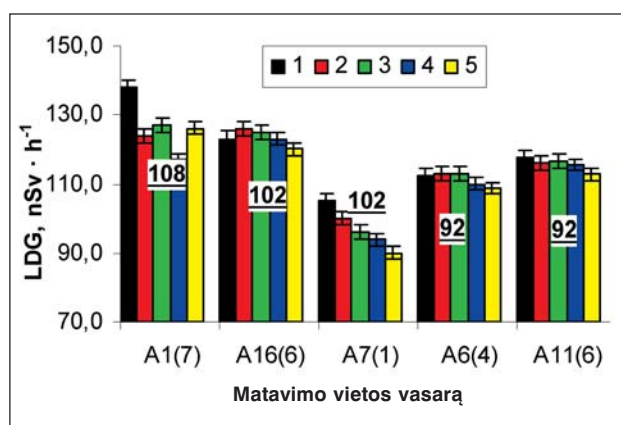
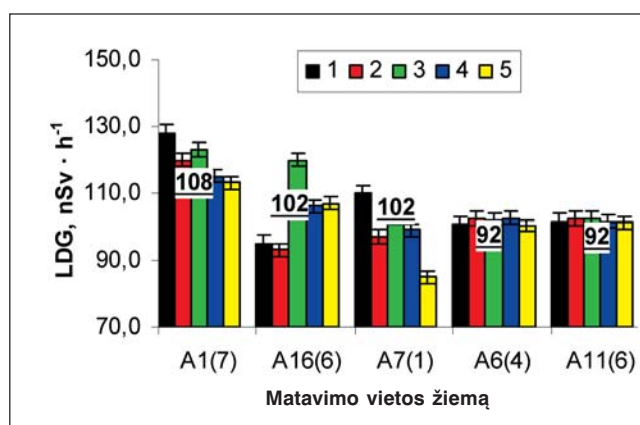
Magistralėje A6 **Kaunas – Zarasai** parinktos šešios LDG pažemio ore matavimo vietovės: A6(1) (Jonava), A6(2) (Ukmergė), A6(3) (ties Skiemonimis), A6(4) (Utena), A6(5) (Degučiai), A6(6) (prieš Zarasus); o magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** matuota aštuoniose matavimo vietovėse: A11(1) (Berčiūnai), A11(2) (Šeduva, ties Baukais), A11(3) (pravažiavus Radviliškį), A11(4) (prieš Šiaulius, Aleksandrija), A11(5) (Kuršėnai), A11(6) (prieš Telšius, Degaičiai), A11(7) (prieš Plungę), A11(8) (Kretinga).

Atrinktos penkios matavimo vietos šalia penkių Lietuvos magistralių, kuriose nustatytos LDG pažemio ore vertės didesnės negu kitose magistralių vietose: **A1** Vilniaus – Kauno – Klaipėdos magistralėje – A1(7), Kauno

apskirtyje, ties Sargėnais, 102 km nuo Vilniaus; **A16** Vilniaus – Prienų – Marijampolės magistralėje – A16(6), Kauno apskrityje, ties Igliauka, 117 km nuo Vilniaus; **A7** Marijampolės – Kybartų magistralėje – A7(1), ties Gižais, 149 km nuo Vilniaus; **A6** magistralėje – A6(4), išvažiavus iš Utenos, 125 km nuo Kauno; **A11** Panevėžio – Šiaulių – Palangos magistralėje – A11(6), prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje, 102 km nuo Vilniaus.

Vilniaus – Kauno – Klaipėdos magistralės A1(7) ir Marijampolės – Kybartų magistralės A7(1) simboliu pažymėtose vietovėse didžiausios LDG pažemio ore vertės nustatytos 7,5 m atstumu nuo asfalto ir žiemą, ir vasarą (2 pav.). Žiemą 7,5 m atstumu nuo kelio LDG pažemio ore vertės A7(1) 11 % ir A1(7) 22 % didesnės už tolesniais atstumais nustatytų verčių vidurkį. Vasarą – didesnės atitinkamai 14 % ir 18 %. Kitose vietovėse LDG verčių skirtumas tostant nuo asfalto nėra toks didelis.

Vilniaus – Kauno – Palangos magistralėje A1(7) vietovėje nustatytos LDG pažemio ore vertės yra didžiausios, palyginti su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat didelės šios vertės A16(6) vietovėje, jos apie 10 % didesnės nei A7(1), A6(4) ir A11(6)



2 pav. Vidutinės LDG pažemio ore vertės šalia magistralių žiemą ir vasarą: A1(7) – matavimo vietos, nutolusios nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m. „—“ – linija, reiškianti matavimo vietovės ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore pagal 2001 m. matavimo regionuose nustatytąsias vertes

Fig 2. Average EDR values in the ground-level air by highways in winter and summer: A1(7) – measuring points at a distance from asphalt: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m. “—“ – line means defined average EDR level in the ground-level air due to isolines in 2001

nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtosios vietovės yra Kauno rajone. Visose nagrinėtose vietovėse, išskyrus A7(1), LDG pažemio ore vertės vasarą nustatytos didesnės negu žiemą. A11(6) vietovėje skirtumas didžiausias – net 13 %, mažiausias A1(7) vietovėje – 6 %.

Visose nagrinėtose vietovėse, išskyrus A7(1), LDG vertės pažemio ore viršija regionuose 2001 m. nustatytąsias vertes.

Vasarą 2001 m. nustatyti konkretių vietovių LDG lygiai pažemio ore daugiausia viršijami A1(7) vietovėje – 10,9 % ir A11(6) – 10,8 %. Žiemą daugiausia viršijami vidutiniai LDG lygiai pažemio ore A11(6) simboliu pažymėtoje vietovėje – 25,7 %, o A1(7) vietovėje – mažiausiai – 17,0 %. A11(6) simboliu pažymėtoje vietovėje, prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje, nustatytosios LDG pažemio ore vertės vidutiniškai 18,3 % viršija regione nustatytą lygį (3 pav.).

VISIPLAN programa modeliuota radionuklidų, esančių kelio dangoje, įtaka LDG pažemio ore pakelės zonoje. Siekta nustatyti, ar asfalto dangoje esantys radionuklidai gali būti priežastis, kad vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje A6 magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumais nuo asfalto su tam tikromis paklaidomis nesiskiria, bet kartu yra didesnės nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos.

Modeliuojant LDG pažemio ore formavimo šaltinius, paisoma tik asfalte esančių radionuklidų gama spinduliuotės. Čia nėra įskaitoma nei kosminės spinduliuotės, nei grunte ar pažemio ore esančių radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės įtaka.

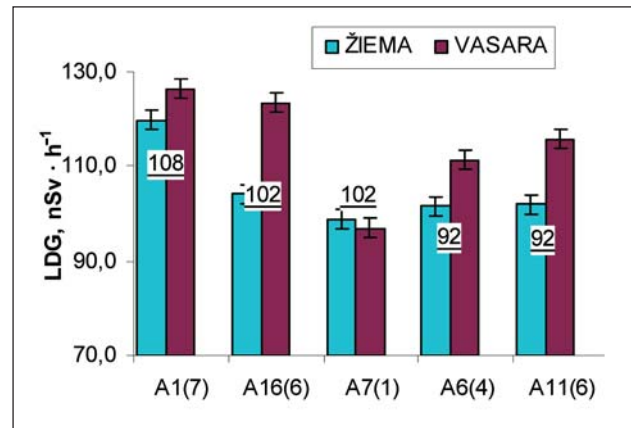
4 pav. pateikiamas vienas iš nagrinėtų LDG pažemio ore sklaidos, tostant nuo asfalto dangos, modelių. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje panaudoti pagal lentelės duomenis. Magistralės atkarpos ilgis pasirinktas 30 m.

7,5 m atstumu nuo asfalto dangos mažiausioji LDG pažemio ore vertė nustatyta $0,99 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, o didžiausioji – $1,8 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, 1 m virš asfalto dangos šio dydžio vertė siekė $54 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Vidutinė LDG pažemio ore vertė visame nagrinėjamame plote buvo $27 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Sprendžiant pagal modeliavimo rezultatus, asfalto dangoje esantys radionuklidai 7,5 m atstumu nuo asfalto gali sudaryti apytiksliai nuo 0,2 % iki 2 % LDG pažemio ore vertės.

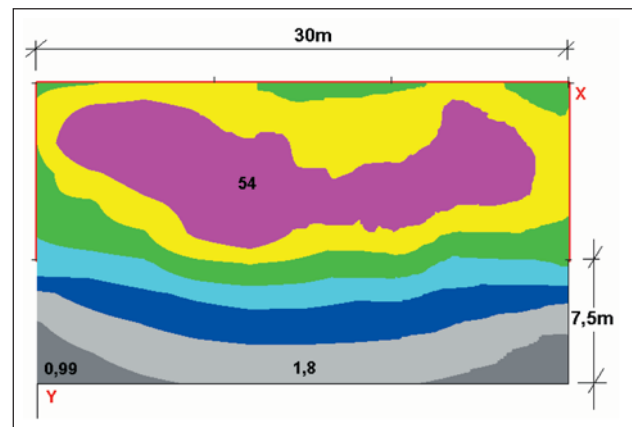
Radionuklidai, esantys asfalto dangoje, galėjo lemti tai, kad išmatuoti dozės galia pažemio ore 7,5 m atstumu nuo asfalto 2 % didesnė negu dozės galia tolimesniais atstumais.

Modeliavimo *InterRAS* programa rezultatai lyginami su matavimo rezultatais (5 pav). Pagal modeliavimo rezultatus, Kauno – Zarasų magistralės A6 nagrinėjamose vietovėse LDG pažemio ore, kuriai įtakos turi dirvožemyje esantys radionuklidai ir kosminė spinduliuotė, yra vidutiniškai 12 % mažesnė nei Panevėžio – Šiaulių – Palangos magistralės A11 nagrinėjamose vietovėse. Pagal matavimo rezultatus, magistralės A6 vietovėse LDG pažemio ore vasarą vidutiniškai taip pat 12 % mažesnė (neįskaitant A6(3)) negu nagrinėjamose A11 magistralės vietovėse.



3 pav. Vidutinės LDG pažemio ore vertės magistralėse žiemą ir vasarą. „—“ – linija žymi 2001 m. matavimo regionuose nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore

Fig 3. Average EDR values in the ground-level air by highways in winter and summer. „—“ – line means defined average EDR level in the ground air due to isolines in 2001

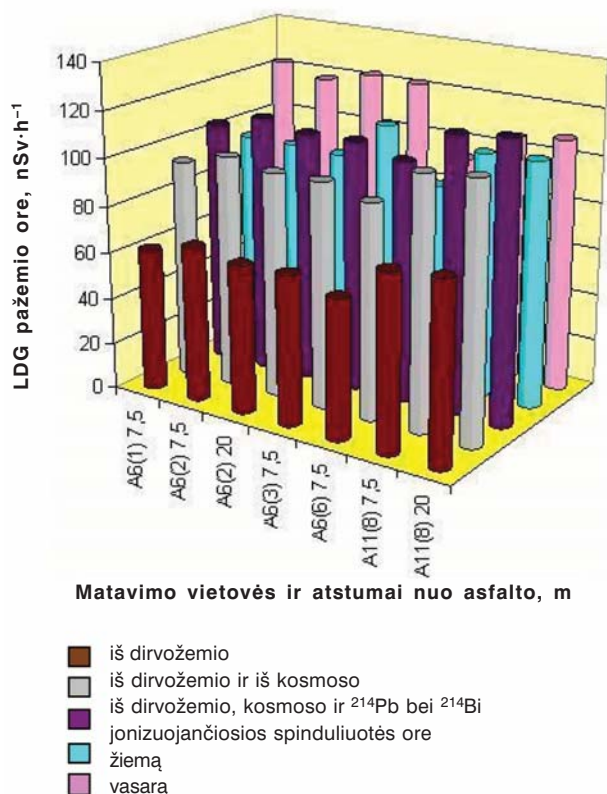


4 pav. LDG pažemio ore pasiskirstymas 1 m virš žemės paviršiaus 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos

Fig 4. EDR in the ground-level air 1 m above the ground surface

Taigi dirvožemyje esančių radionuklidų gama spinduliuotė yra pagrindinė LDG pažemio ore susidarymo priežastis. LDG pažemio ore 12 % verčių skirtumą A11 ir A6 magistralių vietovėse lėmė skirtingas dirvožemis. Tirtuose bandiniuose iš dirbtinės kilmės radionuklidų aptiktas tik ^{137}Cs . Šio radionuklido įtaka LDG pažemio ore yra menka, ir jos gali būti nepaisoma.

Modeliuojant gautos LDG pažemio ore vertės, palyginti su išmatavus gautomis vertėmis, su tam tikromis paklaidomis yra artimos. A6 magistralėje modeliujant gautos vertės vidutiniškai 12 % didesnės už žiemą ir 7 % mažesnės už vasarą matuojant gautas vertes. A11 magistralėje modeliujant gautos vertės vidutiniškai 12 % didesnės už žiemą matuojant nustatytas vertes. Prie modeliavimo būdu nustatytos dirvožemyje esančių radionuklidų



5 pav. LDG pažemio ore modeliavimo ir matavimo verčių palyginimas

Fig 5. Comparison of modeling and measuring values of EDR in the ground-level air

spinduliuotės sukeltos LDG pažemio ore vertės pridėjus dėl kosminės spinduliuotės susidariusią LDG, kaip matyti iš 5 pav. duomenų, apytiksliai gaunama toje vietovėje žiemą išmatuotoji LDG vertė.

4. Išvados

1. LDG pažemio ore vertės matavimo vietose šalia magistralių ir vasarą, ir žiemą su tam tikromis paklaidomis yra artimos vidutinėms vertėms, 2001 m. nustatytoms tuose regionuose.

2. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visose magistralėse 7,5 ir 20 metrų atstumais nuo asfalto, turint mintyje tam tikras paklaidas, nesiskiria, bet kartu yra didesnės nei vertės, gautos išmatavus toliau nuo asfalto dangos: žiemą – ~3 %, vasarą – ~2 %.

3. Didžiausieji LDG pažemio ore verčių skirtumai atlikus matavimus žiemą ir vasarą yra A11(3) ir A11(4) simboliais pažymėtose vietovėse. Šiose vietovėse sniego dangos storis buvo atitinkamai 15 cm ir 16,5 cm, didesnis nei kitose matavimo vietovėse šioje magistralėje.

4. ^{226}Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje A6(1), A6(2) ir A6(3) vietovėse šalia magistralių viršija vidutinės savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: šalia A6(1) – apie 19 %, šalia A6(2) – apie 59 % ir šalia A6(1) – apie 20 %. ^{232}Th savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia A6(1) apie 2 % virši-

ja vidutinės savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. ^{40}K savitasis aktyvumas šalia minėtų magistralių apie 2 % didesnis nei vidutiniškai Lietuvoje. Tai rodo dirvožemio sudėties ypatumus šiuose regionuose.

5. ^{226}Ra savitasis aktyvumas asfalto dangoje iki 130 % didesnis negu jo vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje. ^{40}K savitasis aktyvumas asfalto dangoje tirtuose mėginiuose apie 43 % didesnis negu vidutinis ^{40}K savitasis aktyvumas dirvožemyje.

6. Remiantis modeliavimo rezultatais nustatyta: radionuklidai, esantys asfalto dangoje, galėjo lemti tai, kad išmatuota dozės galia pažemio ore 7,5 m atstumu nuo asfalto 2 % didesnė negu dozės galia tolimesniais atstumais.

7. Modeliuojant nustatytos LDG pažemio ore vertės, palyginti su matuojant gautomis vertėmis, turint mintyje tam tikras paklaidas, yra artimos. A6 magistralėje modeliuojant nustatytos vertės vidutiniškai 12 % didesnės už žiemą ir 7 % mažesnės už vasarą matuojant gautas vertes. A11 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12 % didesnės už žiemą matuojant nustatytas vertes.

8. Vilniaus – Kauno – Palangos magistralėje A1(7) vietovėje nustatytos LDG vertės pažemio ore yra didžiausios, palyginti su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat nustatytos didelės LDG vertės A16(6) vietovėje – apie 10 % didesnės nei A7(1), A6(4) ir A11(6) nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtos vietovės yra Kauno rajone.

9. Visose nagrinėtose vietovėse, išskyrus A7(1), LDG vertės pažemio ore vasarą nustatytos didesnės negu žiemą. A11(6) vietovėje skirtumas didžiausias – net 13 %, mažiausias A1(7) vietovėje – 6 %.

5. Rekomendacijos

1. Pakeles tikslinga apsodinti augmenija, kuri sudarytų augalinę dangą – sumažintų grunte esančių radionuklidų resuspensiją.

2. Pagal tirtų asfalto dangos bandiniuose esančių radionuklidų aktyvumo rodiklius asfalto dangos medžiagas galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

3. Želdinius tręšiant mineralinėmis trąšomis, atsižvelgti į tai, kad ^{40}K jonizuojančioji spinduliuotė turi įtakos LDG pažemio ore susidarymui.

Literatūra

1. Morkūnas, G. Radiacinė sauga? Tai visai paprasta. Radiacinės saugos centras, 2004. 191 p.
2. Lebedytė, M.; Butkus, D. ^{222}Rn skilimo produktų gama spinduliuotės sukelta lygiavertė dozės galia pažemio ore. *Aplinkos inžinerija*, IX t., Nr. 3, 2001, p. 153–157.
3. Pečiulienė, M.; Jasaitis, D.; Girgždys, A. Gamtinės kilmės radionuklidų sukeltos jonizuojančiosios spinduliuotės kaita virš vandens telkinių. Iš: Respublikinės mokslinės konferencijos, įvykusios 2005 m. kovo 23 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 2005.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposures from natural sources. UNSCEAR report 1997, Vienna. 60 p.

5. Chadyšienė, R.; Pečiulienė, M.; Girgždys, A. Jonizuojančios spinduliuotės pokyčiai urbanizuotoje teritorijoje. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol XXI, No 2, 2004, p. 37–41.
6. HN 85:2003, Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos. LR Sveikatos apsaugos ministerija. Vilnius, 2002. 24 p.
7. Lebedytė, M. Gama spinduliuotės intensyvumo laukų pažemio ore ir jų kaitos Lietuvoje tyrimai. Daktaro disertacija, 2001. 105 p.

Donatas BUTKUS. Dr Habil, Prof, Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Doctor Habil of Science (environmental engineering), VGTU, 1999. Membership: a member of International Academy of Ecology and Life Protection. Publications: author of more than 180 research papers, co-author of the monograph „Geophysical problems of atmospheric krypton-85“ (in Russian and English). Research interests: accumulation of radioactive noble gases, their interaction with environmental bodies, self-cleaning of the atmosphere, influence of ionizing radiation of radioactive noble gases on geophysical processes; investigation of the consequences of the Chernobyl accident in Lithuania.

Kristina Živilė GAPONOVIEŅĖ. Master student, Dept of Environmental Protection, Vilnius Technical University (VGTU).

Bachelor of Science (environmental engineering), VGTU. Research interests: environmental protection, protection from radiation.