



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Kristina Živilė Gaponovienė

**LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS KAITOS PAŽEMIO ORE ŠALIA
LIETUVOS MAGISTRALIŲ TYRIMAS**

**EQUIVALENT DOSE RATE VARIATION RESEARCH IN THE GROUND
AIR BY THE LITHUANIAN HIGHWAYS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa

Aplinkos radiacinės saugos technologijų specializacija

Aplinkos inžinerijos ir kraštotvarkos mokslo kryptis

Vadovas Prof. habil. dr. D. Butkus

Vilnius, 2005

Magistrantūros baigiamasis darbas

Lygiavertės dozės galios kaitos pažemio ore šalia Lietuvos magistralių tyrimas

Kristina Živilė Gaponovienė

ANOTACIJA

Kalba: lietuvių

Šiame darbe nagrinėjama gama spinduliuotės sukelta lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore. Gama spinduliuotės svorinis daugiklis lygus vienetui, taigi LDG pažemio ore tapati sugertosios dozės galiai. Tyrimui pasirinktos magistralės A6 Kaunas-Zarasai ir A11 Panevėžys-Šiauliai-Palanga ir jose išskirtos matavimo vietovės. Darbe nustatyti ir išanalizuoti pagrindiniai parametrai lemiantys LDG pažemio ore šalia Lietuvos magistralių.

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

Ekspedicijų metu žiemą ir vasarą nustatytos LDG pažemio ore vertės nagrinėjamose vietovėse. Atlikti dirvožemio, bei asfalto mėginių gama spektrometriniai tyrimai ir pateikta duomenų analizė. Nustatyta, kad LDG pažemio ore vertės priklauso nuo dirvožemio sudėties, augalijos ar sniego dangos, bei atstumo nuo asfalto dangos. Kosminės spinduliuotės įnašas į LDG formavimąsi yra vienodas visoms nagrinėtoms vietovėms. Didžiausią įtaką turi dirvožemyje esančių gamtinės kilmės radionuklidų gama spinduliuotė.

Modeliavimo programa VISIPLAN nustatyta radionuklidų, esančių asfalto dangoje, spinduliuotės įtaka LDG formavimui pakelės zonoje. Modeliavimo programa InterRAS nustatyta LDG pažemio ore formuojama dirvožemyje esančių radionuklidų spinduliuotė.

Reikšminiai žodžiai: lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore, gama spinduliuotė, radionuklidas, gama spektrometriniai tyrimai, VISIPLAN programa, InterRAS programa.

Master Theses

Equivalent dose rate variation research in the ground air by the Lithuanian highways

Kristina Živilė Gaponovienė

ABSTRACT

Kalba: užsienio

This research deals with equivalent dose rate (EDR) in the ground level air caused by gamma radiation. Weighting factor for gamma radiation is equal one, so EDR in the ground air is identical absorbed ionic radiation dose. Highways A6 Kaunas-Zarasai and A11 Panevėžys-Šiauliai-Palanga were investigated. In this research the main parameters determining the level of equivalent dose rate in the ground air by the Lithuanian highways have been defined and analyzed.

The objective of this research is to measure EDR in the ground air by the Lithuanian highways and compare to adequate average regional and with reference to modulation values evaluate variation reasons.

In the expeditions EDR in the ground air was measured in winter and in summer. Samples of soil and asphalt were examined with gamma spectrometer and analyze presented. There was determined the dependence of EDR in the ground air from soil composition, floral or snow cover and distance to the asphalt cover. Cosmic radiation impact on EDR formation is equal to all locations. Natural origin radionuclides in soil gamma radiation have the main influence to EDR formation in the ground air.

Modeling program VISIPLAN was used to define impact of radionuclides radiation in asphalt cover to EDR formation in the roadside zone. Modeling program InterRAS was used to define EDR in the ground air formation from gamma radiation of radionuclide in soil.

Key words: equivalent dose rate (EDR) in the ground level air, gamma radiation, radionuclide, gamma spectrometer, VISIPLAN program, InterRAS program.

TURINYS

Ivadas	10
Problema	10
Temos aktualumas	10
Darbo tikslai ir uždaviniai	10
Temos mokslinis naujumas	11
Darbo praktinė reikšmė	11
1. Radionuklidai kelių tiesimo medžiagose ir dirvožemyje bei jų sukeliama LDG pažemio ore	12
1.1. Radionuklidai aplinkoje	12
1.2. Jonizuojančioji spinduliuotė ir jos rūšys	15
1.3. Jonizuojančiosios spinduliuotės sąveika su medžiaga	17
1.4. Apšvitos dozės ir jų ribos	18
1.5. Gamtinė apšvita	23
1.6. Veiksniai, įtakojantys LDG pažemio ore formavimąsi	29
2. Darbo metodai ir priemonės	37
2.1. Dozimetrinių tyrimų metodika	37
2.2. Diskretinių vietų parinkimas kompleksiniams autotransporto taršos tyrimams atlikti	38
2.3. Detalūs vietovės dozimetriniai tyrimai	39
2.4. Radiometrinių tyrimų metodika ir įranga	41
2.5. Statybinių medžiagų užterštumo radionuklidais vertinimas	49
2.6. Matavimo rezultatų statistinė analizė	51
2.7. Pakelės zonos taršos radioaktyviosiomis medžiagomis modeliavimas	53
2.7.1. Modeliavimo principai	53
2.7.2. Modeliavimo programos InterRAS aprašymas	53
2.7.3. Duomenų pertvarkymas modeliavimui	58
2.7.4. Modeliavimo programos VISIPLAN aprašymas	61
3. Darbo rezultatai	69
3.1. Ekspedicijų duomenų analizė	69
3.1.1. Žiemos ekspedicija magistralėje A6 Kaunas–Zarasai	69
3.1.2. Išvados apie žiemos ekspedicijos rezultatus	78
3.1.3. Vasaros ekspedicija magistralėje A6 Kaunas–Zarasai	79
3.1.4. Išvados apie vasaros ekspedicijos rezultatus	85

3.1.5. Bendrosios išvados apie LDG pažemio ore kaitą šalia magistralės A6	86
3.1.6. Žiemos ekspedicija magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	88
3.1.7. Išvados apie žiemos ekspedicijos rezultatus	97
3.1.8. Vasaros ekspedicija magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	98
3.1.9. Išvados apie vasaros ekspedicijos rezultatus	105
3.1.10. Bendrosios išvados apie LDG pažemio ore kaitą šalia magistralės A11	107
3.1.11. Nustatytųjų LDG pažemio ore verčių, šalia Lietuvos magistralių, palyginimas	108
3.1.12. Išvados	111
3.2. Radiometrinių tyrimų analizė	112
3.2.1. Radionuklidų aktyvumo rodiklis statybinėse medžiagose	112
3.2.2. Radionuklidų aktyvumo rodiklio nustatymas asfalto bandiniuose	113
3.2.3. Išvados	116
3.3. Modeliavimo rezultatai	117
3.3.1. LDG pažemio ore nuo asfalto dangos modeliavimo rezultatai	117
3.3.2. LDG pažemio ore iš dirvožemio modeliavimo rezultatai	129
3.3.3. Išvados	133
4. Bendrosios išvados ir rekomendacijos	134
5. Literatūra	136
6. Priedai	140
6.1. Duomenų pertvarkymas modeliavimui	140
6.2. Lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralės A6 Kaunas – Zarasai tyrimas	148
6.3. Lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralių Lietuvoje matavimų ir modeliavimo rezultatai	155

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Fizikiniai ^{222}Rn skilimo produktų parametrai	13
1.2 lentelė. Apšvitos dozių ribos	22
1.3 lentelė. Vidutiniai ir didžiausieji radionuklidų savitieji aktyvumai tirtose statybinėse medžiagose	26
1.4 lentelė. Statybinių medžiagų efektiniai aktyvumo lygiai A_{eff}	27
1.5 lentelė. Natūraliosios kilmės gama spindulių savitasis aktyvumas Lietuvos dirvožemyje	28
2.1 lentelė. Vietovėje lygiavertės dozės galios požemio ore matavimo rezultatai	40
2.2 lentelė. Vietovėje lygiavertės dozės galios pažemio ore matavimo rezultatai ir jų statistinė analizė	41
2.3 lentelė. Naudojamos įrangos detalizacija	45
2.4 lentelė. Koeficiento μ reikšmės priesmėlio ir priemolio dirvožemiams	59
A6–1 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų matavimo vietovių duomenys	69
A6–2 lentelė. LDG pažemio ore vertės matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	70
A6–3 lentelė. LDG pažemio ore vertės, nustatytos 7,5 m ir 20 m atstume nuo asfalto, dešinėje kelio pusėje	73
A6–4 lentelė. LDG pažemio ore vertės, nustatytos 7,5 m ir 20 m atstume nuo asfalto, kairėje kelio pusėje	74
A6–5 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės Kaunas - Zarasai, statistiniai duomenys	75
A6–6 lentelė. Vasaros ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės Kaunas - Zarasai, statistiniai duomenys	81
A6–7 lentelė. Radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia magistralės A6, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	85
A6–8 lentelė. Radiometrinių duomenų grunte palyginimas	86
A11–1 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų matavimo vietovių duomenys.	88
A11–2 lentelė. LDG pažemio ore vertės matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	89
A11–3 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore statistiniai duomenys	93
A11–4 lentelė. Vasaros ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore statistiniai duomenys	101
A11–5 lentelė. Radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia magistralės A11, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	106
A11–6 lentelė. Radiometrinių duomenų grunte palyginimas	106
A-1 lentelė. LDG pažemio ore vertės magistralių matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	108
A-2 lentelė. 2001m. nustatytųjų LDG verčių pažemio ore viršijimas vietovėse	110

3.1 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai statybinėse medžiagose	112
3.2 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai granitinėje skaldoje	113
3.3 lentelė. Radionuklidų savitasis aktyvumas asfalto mėginiuose, $Bq \cdot kg^{-1}$	114
3.4 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai asfalto mėginiuose	115
3.5 lentelė. Radiometrinių duomenų dirvožemyje ir asfalto mėginiuose palyginimas	115
3.6 lentelė. Modeliavimo programa VISIPLAN nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės statistiniai duomenys	127
3.7 lentelė. LDG pažemio ore modeliavimo rezultatai	130
6.1 lentelė. Asfalto 1 bandinio Fr 11, aktyvumo perskaičiavimas	140
6.2 lentelė. Asfalto 2 bandinio Fr 11, aktyvumo perskaičiavimas	140
6.3 lentelė. Asfalto 3 bandinio Fr 16, aktyvumo perskaičiavimas	141
6.4 lentelė. Asfalto 4 bandinio Fr 16, aktyvumo perskaičiavimas	141
6.5 lentelė. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A11, aktyvumo perskaičiavimas	142
6.6 lentelė. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A6, aktyvumo perskaičiavimas	143

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių apšvita mSv	14
1.2 pav. Alfa spinduliuotė	16
1.3 pav. Beta spinduliuotė	16
1.4 pav. Žmogų veikiantys gamtinės apšvitos šaltiniai pavaizduoti paveiksle	20
1.5 pav. Žmonių apšvitos schema	21
1.6 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv)	24
1.7 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv) (išorinė)	25
1.8 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv) (vidinė)	25
1.9 pav. ^{40}K savitojo aktyvumo dirvožemyje pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	29
1.10 pav. Lygiavertės dozės galios kaita Lietuvoje per metus (1996 m.)	33
1.11 pav. LDG kaita priklausomai nuo kritulių intensyvumo	33
1.12 pav. LDG pasiskirstymas Lietuvoje 1994-1999 m., $\text{pSv}\cdot\text{s}^{-1}$	34
1.13 pav. LDG pažemio ore virš priemolio dirvožemio (prie Vilniaus)	35
1.14 pav. LDG verčių pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje 2001 m., $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	35
1.15 pav. Užtaršos ^{137}Cs pasiskirstymas dirvožemyje po Černobylio avarijos	36
2.1 pav. Grunto sluoksnio modelis	58
2.2 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, priesmėliui	59
2.3 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, priemoliui	60
2.4 pav. VISIPLAN yra 3D ALARA planavimo įrankis naudojamas atominėse elektrinėse daugelyje pasaulio šalių, taip pat ir Lietuvos Ignalinos atominėje elektrinėje	61
2.5 pav. Tūrių ir šaltinių aprašymas Take struktūroje	64
2.6 pav. Dozės galios žemėlapių analizės schema	64
2.7 pav. Siauro gama spinduliuotės pluošto sąveika su medžiaga	66
2.8 pav. Plataus gama spinduliuotės pluošto sąveika su medžiaga	67
2.9 pav. Taškinis Kernelio metodas	67
2.10 pav. Taškinio Kernelio metodo modelis	68
A6–1 pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m. $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	70
A6–2 pav. LDG pažemio ore vertės šalia magistralės Kaunas–Zarasai (dešinioji magistralės pusė, 2004 01 12–13)	72

A6-3 pav. LDG pažemio ore vertės šalia magistralės Kaunas–Zarasai (kairiojoje magistralės pusėje 2004 01 12–13)	73
A6-4 pav. Vidutinės LDG vertės pažemio ore dešiniojoje ir kairiojoje magistralės Kaunas–Zarasai pusėse (2004 01 12–13)	75
A6-5 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A6 Kaunas–Zarasai , priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos.	76
A6-6 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A6 Kaunas–Zarasai	77
A6-7 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 Kaunas–Zarasai	77
A6-8 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Kaunas–Zarasai (dešinioji magistralės pusė, 2004 05 12–13)	80
A6-9 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Kaunas–Zarasai (kairiojoje magistralės pusėje 2004 05 12–13)	81
A6-10 pav. Vidutinės LDG vertės pažemio ore dešiniojoje ir kairiojoje magistralės Kaunas–Zarasai pusėse (2005 01 12–13)	82
A6-11 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A6 Kaunas–Zarasai , priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos	82
A6-12 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A6 Kaunas–Zarasai	83
A6-13 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 Kaunas–Zarasai	83
A6-14 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės žiemą ir vasarą visoje magistralėje A6 Kaunas–Zarasai	
A11-1. pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m. nSv·h ⁻¹	84
A11-1 pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m. nSv·h ⁻¹	89
A11-2 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (dešinioji magistralės pusė, 2004 01 12–13)	91
A11-3 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 01 12–13)	92
A11-4 pav. Vidutinės lygiavertės dozės galios vertės abiejose magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga pusėse (2004 01 12–13)	94
A11-5 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga , priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos. matavimo vietas	94
A11-6 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	95
A11-7 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje autostradoje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	96

A11–8a pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (dešinioji magistralės pusė, 2004 06 9–10)	98
A11–8b pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (dešinioji magistralės pusė, 2004 06 9–10)	99
A11–9a pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 06 9–10)	100
A11–9b pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 06 9–10)	100
A11–10 pav. Vidutinės lygiavertės dozės galios vertės abiejose magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga pusėse (2004 06 9–10)	102
A11–11 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	102
A11–12 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	103
A11–13 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje autostradoje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	104
A11–14 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės žiemą ir vasarą visoje magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga	105
A1 pav. Vidutinės (visų ruožų) LDG pažemio ore vertės šalia magistralių žiemą	109
A2 pav. Vidutinės (visų ruožų) LDG pažemio ore vertės šalia magistralių vasarą	109
A3 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG pažemio ore vertės žiemą ir vasarą magistralėse	110
3.1 pav. Asfalto dangos ir pakelės zonos apibrėžimas erdvėje	118
3.2 pav. I modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas erdvėje	119
3.3 pav. I modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus	120
3.4 pav. II modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas erdvėje	121
3.5 pav. II modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus	122
3.6 pav. III modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas erdvėje	123
3.7 pav. III modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus	124
3.8 pav. IV modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas erdvėje	125
3.9 pav. IV modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus	126
3.10 pav. LDG pažemio ore formuojamos asfalto dangoje esančių radionuklidų priklausomybė	128
3.11 pav. LDG pažemio ore modeliavimo ir matavimo verčių palyginimas	131
3.12 pav. Nagrinėjamų vietovių gautų parametrų vaizdavimas	132

IVADAS

Problema. Šiame darbe nagrinėjamas lygiavertės dozės galios formavimasis pažemio ore. Aplinkoje yra natūralios ir dirbtinės kilmės radionuklidų, kurie skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę. Radionuklidų skleidžiama spinduliuotė formuoja LDG pažemio ore.

Lygiavertės dozės galios kaitos pažemio ore tyrimas yra kompleksinio taršos tyrimo dalis. Ekspedicijų metu atliekamas kompleksinis aplinkos tyrimas autotransporto taršai pakelių zonose nustatyti. Kompleksinius taršos tyrimus sudaro: oro (vasarą), triukšmo (vasarą ir žiemą), jonizuojančiosios spinduliuotės (vasarą ir žiemą), dirvožemio (vasarą), stovinčio vandens telkinių (vasarą), sniego tirpsmo vandens (žiemą) matavimai bei laukinių gyvūnų migracijos analizė (žiemą). Lygiavertės dozės galia pažemio ore (LDG) – yra jonizuojančiosios spinduliuotės, kurią sukelia radioaktyviosios medžiagos pasekmė. Todėl šis parametras parodo aplinkos taršą radioaktyviosiomis medžiagomis.

Skersiniame profilyje atstumai matavimams parinkti net iki 150 metrų atstumu nuo asfalto. Šio parinkimo tikslas – išsiaiškinti, ar reikia didinti šiuo metu galiojančią magistralinių kelių apsaugos zoną, kuri siekia 70 metrų iki buvusios 150 metrų.

Temos aktualumas. Šalia magistralių LDG pažemio ore nėra tirta, todėl neišaiškintos ir jos kaitos priežastys. Jos gali būti skirtingos, negu tokių pat verčių susidarymo priežastys įvairiuose regionuose. Šiame darbe, matuojant LDG pažemio ore žiemą ir vasarą, be to specialiais eksperimentiniais tyrimais siekiama nustatyti pagrindines priežastis, lemiančias LDG kaitą šalia magistralių, taip pat ir kitimo ribas. Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralių nustatomos eksperimentiškai ir lyginamos su vidutinėmis vertėmis, būdingomis regionui. Jos 2001 metais kito nuo 90 iki 110 nSv·h⁻¹ A6 magistralės Kaunas – Zarasai regione ir nuo 86 iki 110 nSv·h⁻¹ A11 magistralės Panevėžys - Šiauliai - Palanga regione. Tokiu būdu nustatoma, kaip skiriasi LDG pažemio ore šalia magistralių nuo tame regione nustatytų verčių. Tyrimai atliekami žiemą ir vasarą, todėl rezultatai parodo lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore kaitą priklausomai nuo metų laiko, t. y. nuo žemės paviršiaus būvio ir meteorologinių sąlygų. Pagal gautus rezultatus galima spręsti apie esamą taršą radioaktyviosiomis medžiagomis.

Darbo tikslai

1. Nustatyti lygiavertės dozės galios pažemio ore vertes šalia magistralių Kaunas-Zarasai (A6) ir Panevėžys-Šiauliai-Palanga (A11), bei palyginti vertėmis šalia kitų Lietuvos magistralių.

2. Įvertinti lygiavertės dozės galios pažemio ore verčių kaitos priežastis šalia pagrindinių Lietuvos magistralių.
3. Išsiaiškinti, lygiavertės dozės galios pažemio ore verčių kaitos ribas apsaugos zonoje šalia magistralių Lietuvoje.

Darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti lygiavertės dozės galios pažemio ore verčių pasiskirstymą Lietuvos teritorijoje, ypač tuose regionuose, kuriuose nutiestos tiriamos magistralės.
2. Pasirinktose matavimo vietose šalia pagrindinių magistralių išmatuoti lygiavertės dozės galios pažemio ore vertes.
3. Išmatuoti radionuklidų savituosius aktyvumus dirvožemyje ir magistralių medžiagose.
4. Modeliuoti LDG pažemio ore šalia magistralės susidarymą.

Temos mokslinis naujumas. Šiame darbe nagrinėjamas lygiavertės dozės galios formavimasis pažemio ore šalia Lietuvos pagrindinių magistralių. Siekiama nustatyti kiek ir kodėl LDG pažemio ore šalia magistralių skiriasi nuo LDG pažemio ore verčių regionuose, kuriuose driekiasi magistralės. Modeliuojant bandoma įvertinti kokia yra asfalto dangos medžiagose esančių radionuklidų spinduliuotė ir kokia tai sukelia LDG pažemio ore. Temos mokslinis naujumas išryškėja tiriant ir modeliuojant LDG pažemio ore sklaidą, tolstant nuo asfalto dangos. Apie panašius tyrimus duomenų rasti nepavyko.

Praktinė darbo reikšmė. Darbe nustatytosios lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralių vertės gali būti naudojamos kaip atskaitos sistemos vertės tiriant įvykius, susijusius su padidėjusia tarša tose vietovėse radioaktyviosiomis medžiagomis. Lyginant fonines ir po papildomos užtaršos nustatytosios radioaktyviosiomis medžiagomis vertes, bus įmanoma nustatyti ne tik užtaršos mastus, bet ir radioaktyviųjų medžiagų kilmę, o pagal kilmę – taršos priežastis.

Matuojant LDG pažemio ore skersiniame magistralės profilyje, atstumai matavimams parinkti net iki 150 metrų atstumu nuo kelio. Taip aiškinamasi ar reikia didinti šiuo metu galiojančią magistralinių kelių apsaugos zoną, kuri siekia 70 metrų iki buvusios 150 metrų.

1. RADIONUKLIDAI KELIŲ TIESIMO MEDŽIAGOSE IR DIRVOŽEMYJE BEI JŲ SUKELIAMA LDG PAŽEMIO ORE

1.1. Radionuklidai aplinkoje

Radionuklidų yra visur – statybinėse medžiagose, metale, plastmasėje, vandenyje, grunte ir maiste. Aplink mus ir mumyse. Gamtiniai radionuklidai atsirado kartu su Visata, tai mūsų planetos dalis [1]. Dažnas mūsų mano, kad jonizuojančioji spinduliuotė, vadinamoji radiacija, mus švitina dėl to, kad pasaulyje kažkada buvo bandomos atomines bombos, veikia atominės elektrinės, įvyko Černobylio avarija. Taip, dėl šių priežasčių į aplinką pateko ir nuolat patenka radioaktyviųjų medžiagų - radionuklidų. Žmogus švitinamas ir darant rentgeno nuotraukas. Diagnostikai ir gydymui naudojant radioaktyviuosius preparatus. Žmogų spinduliuotė pasiekia ir iš kosmoso, statybinių medžiagų bei dirvožemio. Tačiau didžiausia dozė žmogus dažniausiai gauna spinduliuojant radonui.

Radonas yra radioaktyvios bespalvės ir bekvapės dujos, tad žmogaus jutimo organais neįjuntamos. Yra kelios radono rūšys, kurios dar vadinamos izotopais. Didžiausia apšvitą žmogus gauna iš izotopo, kurio atominė masė yra 222. Šis izotopas žymimas ^{222}Rn . Jis atsiranda skylančiam metalui - radžiui ^{226}Ra , kurio yra visur: dirvožemyje, vandenyje, uolienose, maiste, netgi žmogaus kūne. Pats Radonas irgi skyla. Jam skylančiam susidaro radioaktyvus polonio, bismuto ir švino izotopai. Beje, ir pats radis atsirado skylančiam ^{238}U . Nustatyta, kad Lietuvoje svarbiausias radono šaltinis yra dirvožemis [2].

Visi žinomi inertinių dujų radono izotopai yra radioaktyvūs. Gamtiniai izotopai ^{219}Rn , ^{220}Rn ir ^{222}Rn - yra aktinio, torio ir urano radioaktyviųjų šeimų nariai.

Dėl mažos pusėjimo trukmės (4 s) ^{219}Rn (aktinonas) jokių problemų, susijusių su žmogaus apšvita, nesukelia, kadangi į orą patenkantys jo kiekiai yra labai maži.

Radonas ^{220}Rn (toronas) yra torio šeimos radionuklidas, susidarantis skylančiam radžio izotopui ^{224}Ra . ^{220}Rn srautas iš dirvos vidutiniškai sudaro $1,5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. ^{220}Rn pusėjimo trukmė yra 56 s, todėl jo difuzijos nuotolis yra toks mažas, kad tik nedidelė dalis patenka į atmosferą [3]. Atmosferos ore jo turiniai aktyvumai kinta nuo 0,1 iki 0,6 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [4]. ^{220}Rn yra ^{232}Th skilimo produktas, gama spinduliuotės, o jo kiekio dirvoje rodiklis – ^{208}Tl .

^{222}Rn yra ilgiausiai gyvuojantis iš visų radono izotopų (pusėjimo trukmė 3,82 paros), susidaro skylančiam ^{226}Ra . ^{222}Rn srautas iš dirvos yra vidutiniškai 100 kartų mažesnis negu ^{220}Rn [3], bet palyginus ilgą gyvavimo laiką apsprendžia jo platų pasiskirstymą atmosferoje. Vidutiniškas torono ir radono pusiausvyrinių lygiaverčių aktyvumų (radono, esančio pusiausvyroje su savo

skilimo produktais, tūrinis aktyvumas) santykis yra 0,03. Be to, ^{222}Rn buvimą aplinkoje lemia didelė ^{226}Ra pusėjimo trukmė 22 metų [4].

Visi radono izotopai yra alfa spinduliai, o jų skilimo produktai skleidžia ir beta daleles, ir gama kvantus. Pagrindiniai duomenys apie ^{222}Rn skilimo produktus pateikti 1 lentelėje.

Pagrindinis ^{222}Rn poveikis žmogaus organizmui pasireiškia tuo, kad dalis ore esančio Rn ir jo skilimo produktų yra įkvėpiami, bei nusėda kvėpavimo takuose ir gali sukelti kvėpavimo takų vėžį. Ore ir dirvoje esantys jo skilimo produktai - gama spinduliai - turi įtakos išorinei apšvitai.

1.1 lentelė. Fizikiniai ^{222}Rn skilimo produktų parametrai [3]

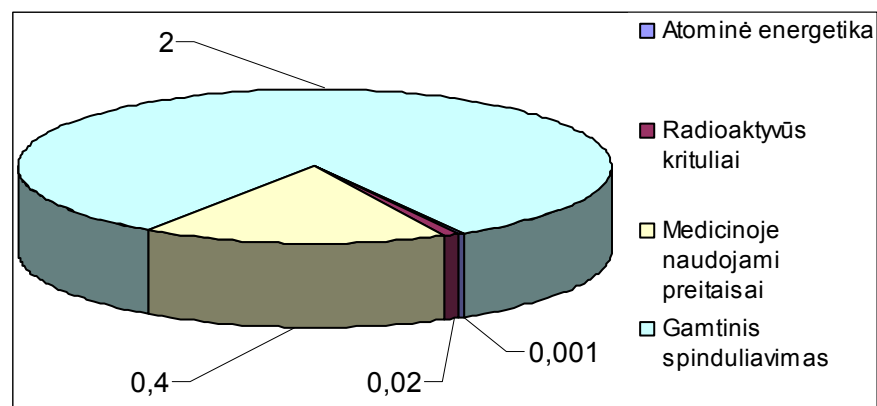
Radionuklidas	Pusėjimo trukmė	Vidutinė spinduliuotės energija, E , MeV ir kvantinė išėiga, g , %					
		Alfa		Beta		Gama	
		E	g	E	g	E	g
^{218}Po	3,05 min	6,00	100	-	-	-	-
^{214}Pb	26,8 min.			1,02	6	0,35	37
				0,70	42	0,30	19
				0,65	48	0,24	8
^{214}Bi	19,9 min.			3,27	18	0,61	46
				1,54	18	1,77	16
				1,51	18	1,12	15
^{214}Po	164 μs	7,69	100	-	-	-	-

Žemės plutoje esančio ^{238}U savitasis aktyvumas - apie $36 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [3], todėl ten pastoviai atsiranda ^{226}Ra , o iš jo kilęs ^{222}Rn per poras ir plyšius prasiskverbia į atmosferą. Taip vyksta radono ^{222}Rn ekshalacija iš dirvos, kuri įtakoja LDG pažemio ore formavimuisi. Vidutinis radžio savitasis aktyvumas žemės plutoje kinta nuo $25 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [5] iki $40 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [6].

^{222}Rn atomų dalis, kuri iš kietose dirvožemio dalelėse esančio radono patenka į poras, vadinama emanacijos koeficientu. Koeficiento vertės labai kinta, dėl to ^{222}Rn kiekiai dirvožemio ore yra labai skirtingi. 10-40% radono, susidariusio mineralų dalelėse, patenka į poras (molyje į poras gali patekti net 70% šio radionuklido), o ^{222}Rn kiekio dirvoje kaita labai priklauso nuo dirvos pralaidumo. Ši kaita yra didžiausia dirvožemiuose, sudarytuose iš stambių arba pačių smulkesnių dalelių. ^{222}Rn kiekio dirvos ore kaita per parą yra ne didelė, bet per mėnesį ar dar ilgesnį laikotarpį yra gana pastebėtina. Ši kaita yra daug didesnė prie žemės paviršiaus negu vieno metro gylyje arba giliau.

Radioaktyviųjų medžiagų šaltiniai yra dvejopo pobūdžio – gamtiniai ir antropogeniniai. Didžiąją dalį apšvitos žmogus gauna iš gamtinių šaltinių (67 %), o kita apšvitos dalis (35 %) yra žmogaus veiklos rezultatas.

Gamtiniai radioaktyvūs nuklidai patenka į atmosferą iš viršutinių žemės sluoksnių, taip pat susidaro sąveikaujant kosminiams spinduliams su ore esančių medžiagų atomų branduoliais. Žemės plutoje yra aptikta per 60 gamtinių radionuklidų, iš jų 32 radionuklidai, priklausantys trims radioaktyviosioms šeimoms, kurių skilimų grandinių pradininkai urano ^{238}U , ^{235}U , torio ^{232}Th izotopai. Iš pagrindinių radionuklidų, neįeinančių į šeimas, būtina paminėti ilgai gyvuojantį kalio izotopą ^{40}K , kurio pusamžis yra milijonai metų [7].



1.1 pav. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių apšvita mSv [7]

Biosfera ir tarpusavyje sąveikaujantys jos komponentai (oras, dirvožemis, vanduo, dugno nuosėdos, augalai, gyvūnai, žmonės) nuolat patiria jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį. Atmosferos ore egzistuoja atomų, molekulių, aerozolio dalelių pavidalu visų trijų gamtoje aptinkamų radioaktyviųjų šeimų - urano, torio ir aktinio - elementai.

Radioaktyviosios medžiagos atsiranda atmosferoje ir veikiant kosminei spinduliuotei. Jos susidaro neutronams arba didelės energijos kosminėms dalelėms veikiant oro daleles. Taip atsiranda atmosferoje ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{41}Ar , ^{32}P , ^{35}S ir kiti radionuklidai [8].

Kosminė spinduliuotė sudaro 1/7 gamtinės žmogaus apšvitos dalį. Kosminės spinduliuotės intensyvumas priklauso nuo aukščio virš jūros lygio, geografinės padėties (link poliarinių rajonų didėja). Skrendant lėktuvu žmonės sugeria šimtą kartų didesnės jonizuojančios spinduliuotės dozes, nei jūros lygyje [9]. Kosminės spinduliuotės įnašas į apšvitos dozę yra gana svarbus. Atliekant atmosferos jonizacijos tyrimus tam tikroje platumoje keliuose aukščiuose, gauta, kad ji didėja pagal

aukštį, vidutiniškai per metus jūros lygyje lygi $2,1 \pm 0,1$ jonų porų $\cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ir atitinka apšvitos dozės galią $27,5 \pm 1,5$ mrad ($27,5 \pm 1,5 \cdot 10^{-2}$ mGy) [10]. Šiuo metu LDG pažemio ore, sukelta kosminės spinduliuotės laikoma pastovia ir šiaurės pusrutulyje jūros lygyje sudarančia $32 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ [4].

Dėl žmonių veiklos aplinkoje atsiranda vis daugiau radionuklidų ir jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių. Dideli radioaktyviųjų medžiagų kiekiai patenka į aplinką dėl branduolinių ir termobranduolinių sprogdinimų, taip pat dėl branduolinio kuro ciklo veiklos. Pagrindinį įnašą į žmogaus apšvitą turi ilgaamžiai radionuklidai, tokie kaip ^{14}C , ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{137}Cs ir kiti [8].

Skiriami šie pagrindiniai aplinkos užtaršos radioaktyviosiomis medžiagomis etapai: branduolinių ginklų bandymai, branduolinių įtaisų avarijos, Černobylio atominės elektrinės avarija (ČAE) ir branduolinio kuro ciklas (BKC). Taikant griežtas aplinkos apsaugos priemones iš BKC į biosferą patenka nedidelė radioaktyviųjų atliekų dalis (mažiau 0,008%). Daugiausia jų, apie 95%, susidaro branduolinio kuro perdirbimo įmonėse, apie 5% atominėse elektrinėse ir tik $3,5 \cdot 10^{-2}\%$ urano rūdų kasimo ir perdirbimo įmonėse. Tačiau ir nedidelis į aplinką patenkančių radioaktyviųjų atliekų kiekis gali turėti neigiamų padarinių. Išskiriami du svarbiausi užtaršos ^{137}Cs periodai: branduolinio ginklo bandymų metu (1945-1980 m.) ir 1986 m., po ČAE katastrofos. Dirbtinės kilmės radionuklidai, patenkantys ant žemės paviršiaus, papildo apšvitą. Šiuo metu pagrindiniu dozę sudarančiu dirbtinės kilmės radionuklidu laikomas ^{137}Cs , kuris yra ilgaamžis dirbtinės kilmės beta ir gama spindulio [8].

Papildomi technogeniniai jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai yra iškasenos, trąšos su radioaktyviuoju kaliu ^{40}K , taip pat apšvitos dozės gaunamos medicininės diagnostikos metu [11].

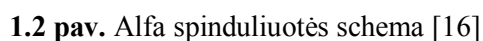
1.2. Jonizuojančioji spinduliuotė ir jos rūšys

Jonizuojanti spinduliuotė yra elektromagnetinių bangų arba dalelių sklaidimas. Rentgeno ir gama spinduliai yra elektromagnetinės bangos. Dalelių formos jonizuojanti spinduliuotė – tai alfa, beta dalelių, neutronų ar kitų dalelių, srautas. Bet kokia forma sklindanti jonizuojanti spinduliuotė gali perduoti savo energiją medžiagai. Šios energijos perdavimo pasekoje išstumiami elektronai iš atomų orbitų ir atomai virsta jonais. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais gali būti radioaktyviosios medžiagos arba įrengimai, tokie kaip Rentgeno aparatas ar Rentgeno vamzdis [12].

Jonizuojanti spinduliuotė – tai spinduliuotė kuri tiesiogiai ar netiesiogiai gali jonizuoti aplinką. Tokia spinduliuotė gali būti Rentgeno ir gama spinduliuotė, o taip pat elektrintųjų ar neutraliųjų dalelių, turinčių reikiamą energiją, srautas. Dažniausiai jonizacijos šaltiniu būna: alfa dalelės, beta dalelės, neutronai, gama ir rentgeno spinduliai [13].

Aplinką jonizuoti gali protonai ir kitos dalelės, atsiradusios branduolinių reakcijų išdavoje.

Alfa spinduliuotė - nestabilus branduolys išspinduliuoja dalelę, - helio branduolį, sudarytą iš dviejų neutronų ir dviejų protonų [15]. Sužadintam branduoliui grįžtant į nesusžadintą būseną, išspinduliuojami gama kvantai:



A diagram showing a nucleus on the left, represented as a cluster of red and yellow spheres. To the right, a small red sphere is labeled β dalelė (beta particle). Below that, a purple wavy arrow pointing downwards and to the right is labeled γ kvantas (gamma quantum).

1.3 pav. Beta spinduliuotės schema [16]

Skylant kai kuriems radionuklidams, išspinduliuojami įvairių energijų neutronai. Neutronai - tai neturinčios krūvio didelės skvarbos dalelės. Išspinduliuoti neutronai turi savybę sukelti kitų medžiagos branduolių dalijimąsi, kurie savo ruožtu taip pat išspinduliuoja neutronus.

Jeigu naujai atsiradusių neutronų skaičiaus santykis su sukėlusio branduolio dalijimąsi neutronų skaičiumi yra lygus arba didesnis, prasideda grandininė branduolių dalijimosi reakcija [16].

1.3. Jonizuojančiosios spinduliuotės sąveika su medžiaga

Alfa dalelių sąveika su medžiaga. Alfa dalelės - tai helio atomo branduoliai (teigiamo krūvio dalelės), turintys didelę kinetinę energiją (4-6 MeV). Jos yra sunkios, pasižymi didele jonizacijos geba, tačiau nėra skvarbios. Dalelės, įlėkusios į kietą medžiagą, praranda savo energiją, išskleidamos ją netampriems ir tampriems sąveikos procesams. Minėtų susidūrimų metu vyksta šie pagrindiniai fizikiniai procesai:

1. Susidūrimai su medžiagos atomų elektronais, kurių pasekoje vyksta jonizacija (netamprioji sąveika).
2. Susidūrimai su medžiagos atomų branduoliais, kurių metu branduolys gali būti išsklaidomas arba sužadinamas (tamprioji sąveika).

Alfa spinduliuotė, veikdama skystas medžiagas, sukelia cheminį procesą - disociaciją, kurio metu susidaro teigiami ir neigiami jonai.

Alfa dalelėms sąveikaujant su kietą medžiaga, dominuoja sąveikos su atomų ar molekulių elektroniniais apvalkalais procesas. Sąveikaudamos su medžiagos atomais, dalelės iš elektroninio apvalkalo išorinių sluoksnių išmuša elektronus. Taip atomai virsta jonais.

Kad dalelės prarastų visą savo energiją, reikalingas didelis susidūrimų skaičius - iki 10 000 -100 000 kartų. Susidaro didelis skaičius jonų porų, nors prasiskverbimo į medžiagą gylio nedidelis, palyginus su beta ar gama dalelių prasiskverbimo gyliu. Dalelė tuo giliau prasiskverbia, kuo didesnė jos energija ir greitis. Didžiausią energiją turinčios dalelės gali įveikti 11 cm oro sluoksnį ir tik 150 cm storio vandens sluoksnį.

Beta dalelių sąveika su medžiaga. Beta dalelės (elektronai, pozitronai), sąveikauja su medžiagos atomų branduolio lauku. Sąveikos metu vyksta šie fizikiniai procesai:

1. Atomo jonizacija, branduolio sužadinimas (netamprieji procesai).
2. Elektronams judant su pagreičiu, dėl šių stabdymo atsiranda rentgeno spinduliuotė (tamprioji sąveika).

Beta dalelių skvarba yra iki 100 kartų didesnė negu alfa dalelių. Pvz., 3 MeV energijos dalelės pilnai absorbuoja 14 m oro sluoksnis. Didžiausią energiją turinčios dalelės gali praeiti kelių milimetrų storio aliuminio sluoksnį.

Beta dalelių jonizacinė geba mažesnė negu alfa dalelių. Be to, jų sklaidimo trajektorija yra smarkiai iškraipoma.

Gama spinduliuotės sąveika su medžiaga. Gama dalelės neturi krūvio, todėl yra labai skvarbios. Jonizacijos procesas, vykstantis gama dalelių srautui sąveikaujant su medžiaga, yra netiesioginis. Medžiagos jonizaciją sąlygoja antrinės elektringosios dalelės, atsirandančios pirminių dalelių sąveikos su aplinka metu. Sąveikos metu vyksta 3 pagrindiniai procesai:

1. Fotoelektrinė sugertis
2. Komptono sklaida
3. Porų susidarymas.

Kiekvieno šių procesų rezultatas - visa gama kvanto energija arba jos dalis perduodama elektronui (fotoelektronui, Komptono elektronui, elektrono-pozitrono porai). Gautą energiją elektronai ir pozitronai perduoda medžiagai. Energijos perdavimas medžiagai vyksta netoli tos vietos, kur įvyko sąveikos aktas tarp gama kvanto ir medžiagos atomo.

Fotoelektrinė sugertis yra dominuojantis procesas mažų energijų srityje, didesnių energijų srityje vyrauja Komptono sklaida ir porų susidarymas. Fotoelektrinės sugerties metu gama fotonai sąveikauja su surištaisiais (esančiais vidiniuose atomo elektroninio apvalkalo sluoksniuose) elektronais. Tokios sąveikos rezultatas - išspinduliuojami antriniai elektronai arba rentgeno spinduliai.

Komptono sklaidos metu, sąveikaujant gama fotonui ir išorinio atomo elektroninio apvalkalo sluoksnio elektronui, pasikeičia fotono kinetinė energija ir impulsas. Sklaidos proceso parametrai priklauso nuo medžiagos atominės masės bei tankio.

Porų susidarymo procesas vyksta branduolio lauke. Gama fotonas virsta elektrono ir pozitrono pora. Šis procesas aiškinamas, remiantis kvantinės mechanikos teorijos prielaidomis [16].

1.4. Apšvitos dozės ir jų ribos

Kiekybinis jonizuojančiosios spinduliuotės įvertinimas yra apšvitos dozė. Veikiant apšvitai gyvojo audinio molekulės ir atomai yra jonizuojami. Šitam procesui sunaudojama jonizuojančiosios spinduliuotės energija, kuri kiekybiškai įvertinama apšvitos doze. Dozių rūšys yra šios: sugertoji, lygiavertė, efektinė, ekspozicinė, kolektyvinė ir k.t. Pagrindinis apšvitos parametras yra **sugertoji dozė (D)**. Tai yra elementariajam medžiagos sistemos tūriui perduota vidutinė energija ($d\bar{E}$), padalyta iš to tūrio masės (dm) [16]:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}, \quad (1.1)$$

čia: dE - medžiagos tūrio elementui suteikta vidutinė jonizuojančiosios spinduliuotės energija, džauliais (J);

dm – to tūrio elemento medžiagos masė, kilogramais.

Matavimo vienetas grėjus (Gy). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. $1 \text{ Gy} = 100 \text{ radų}$.

Oro tūrio masės sugertąją energiją tikslinga nagrinėti ekspozicinės dozės sąvoką: **Ekspozicinė dozė (X)** – esant Rentgeno arba gama spinduliuotei, tai visų ore sukurtųjų viena rūšių jonų krūvių suma (dQ), kai visi elementariame tūryje išlaisvintieji elektronai visiškai sustabdomi ore, padalyta iš to tūrio masės (dm) [16]:

$$X = dQ/dm. \quad (1.2)$$

SI sistemos vienetas kulonas kilogramui (C/kg) Anksčiau vartotas nesisteminis vienetas rentgenas. $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$.

Skiriamos dar kolektyvinė defektinė dozė (S), sukauptoji defektinė dozė [$E(\tau)$] ir sukauptoji lygiavertė dozė [$H_T(\tau)$].

Tačiau šiame darbe šia sąvoka nesiremiam. Pirma, praktikoje tam nėra tradicijų, nes neįprasti yra matavimo vienetai. Antra, turima omenyje oro tūrio masės sugertoji jonizuojančiosios spinduliuotės energija. Tačiau vietoje sugertosios dozės nagrinėjama lygiavertė dozė, nes tiriama gama spinduliuotė, kuriai svorinis jonizuojančiosios spinduliuotės daugiklis yra lygus vienetui.

Lygiavertė dozė (H_T) sugertoji dozė pakoreguota, atsižvelgiant į jonizuojančios spinduliuotės biologinio poveikio ypatumus, tai yra padauginta iš svorinio jonizuojančios spinduliuotės daugiklio (W_R). Jei apšvitos lauką sudaro kelios dedamosios, tai [16]:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}, \quad (1.3)$$

čia: w_R - svorinis jonizuojančiosios spinduliuotės daugiklis;

$D_{T,R}$ - vidutinė sugertoji dozė T audinyje arba organe, apšvitintame R spinduliuote, grėjais (Gy).

Matavimo vienetas džaulis kilogramui (J/kg), jis vadinamas sivertu (Sv). Anksčiau vartotas nesisteminis vienetas beras. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ berų}$

Svorinis jonizuojančiosios spinduliuotės daugiklis žymimas W_R . Tai bedimensinis dydis. Jis priklauso nuo jonizuojančios spinduliuotės biologinio poveikio ypatumų (nuo spinduliuotės rūšies ir energijos). Mažiausias svorinis jonizuojančiosios spinduliuotės daugiklis W_R visų energijų

fotonams, elektronams ir protonams ($W_R=1$), didžiausias neutronams, kurių energija yra nuo 100 keV iki 2 MeV, alfa dalelėms, branduolių dalijimosi skeveldroms, sunkiesiems branduoliams ($W_R=20$). Lygiavertė dozė (H_T) tiesiog proporcinga svoriniam jonizuojančiosios spinduliuotės daugikliui W_R . Kuo didesnis W_R , tuo didesnė lygiavertė dozė.

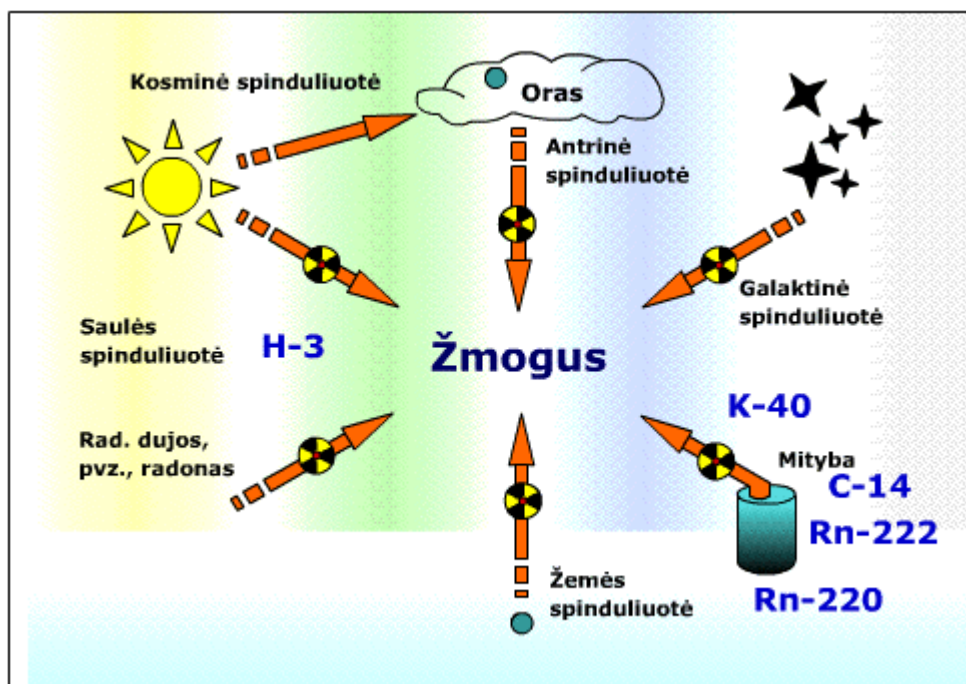
Dozės kaupimosi spartai aplinkoje nustatyti, naudojamosi dozės galios sąvoka, pavyzdžiui, **Lygiavertės dozės galia** (H_T) - lygiavertės dozės prieaugis (dH_T) per laiką (dt) vadinama lygiavertės dozės galia [16]:

$$H_T = dH_T/dt; \quad (1.4)$$

SI sistemos vienetas sivertas sekunde (Sv/s).

Kadangi sivertas [Sv] yra stambus SI sistemos vienetas, praktikoje lygiavertės dozės galia matuojama $nSv \cdot h^{-1}$.

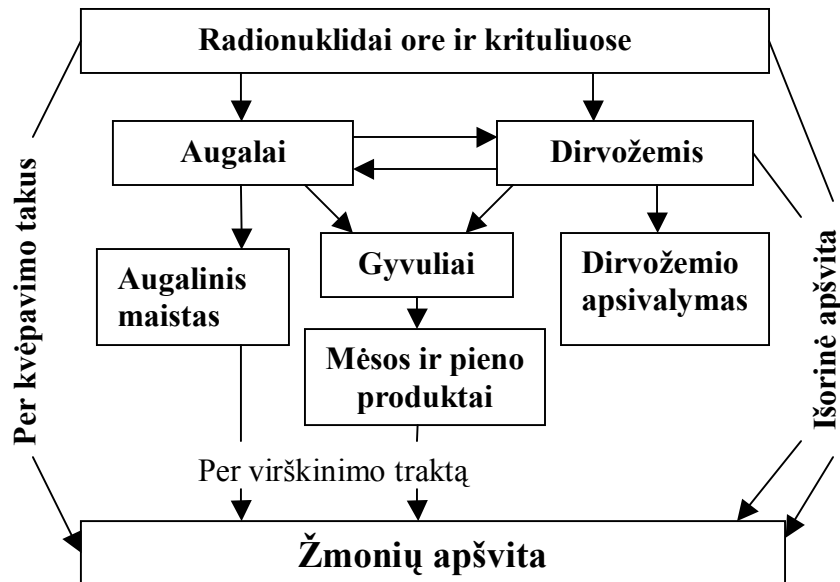
Įvertinus Lietuvos gyventojų vidutinę metinę dozę, sąlygotą gamtinę kilmės šaltinių, gauta, kad ji yra 2,2 mSv (pasaulio vidurkis - 2,4 mSv). Didžiąją šios dozės dalį (0,95 mSv) lemia radonas patalpose.



1.4 pav. Žmogų veikiančių gamtinės apšvitos šaltinių schema [16]

Turint galvoje, kad radono tūriniai aktyvumai atskiruose namuose smarkiai skiriasi, galima teigti, kad Lietuvos gyventojai iš gamtinės kilmės šaltinių gauna nuo 1,2 iki 10 mSv per metus.

Žmogus patiria ne tik išorinę, bet ir vidinę jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą. Radionuklidų jonizuojančioji spinduliuotė sukelia išorinę ir vidinę žmogaus organizmo apšvitą. Žmogaus apšvitos schema pateikta 1.5 pav.



1.5 pav. Žmonių apšvitos schema [17]

Iš 1.5 paveikslo matyti, kad išorinė ir vidinė apšvita žmogų pasiekia įvairiais keliais. Dėl sauso nusėdimo arba šlapio išplovimo radionuklidai, esantys atmosferos ore, patenka į dirvožemį ir ant augalų. Dalis dirvožemyje esančių radionuklidų patenka į augalus per šaknis. Augalai dalinai apsivaldami nuo radionuklidų juos pašalina į dirvožemį. Dirvožemis apsivalo dėl vertikaliosios radionuklidų migracijos, bei skilimo. Ariant laukus, vyksta dirvos persimaišymas, radionuklidai patenka į gilesnius dirvos sluoksnius. Per virškinamąjį traktą žmogų pasiekia vidinė apšvita vartojant maisto produktus, pavyzdžiui mėsą ir pieną. Egzistuoja tam tikri radionuklidų perėjimo koeficientai iš pašarų į gyvulius, iš gyvulių į mėsą ir pieną. Taip pat vidinę apšvitą sąlygoja su oru įkvepiami radionuklidai. Išorinės apšvitos šaltiniais nurodyti dirvoje ir esantys radionuklidai.

Atskirų žmogaus organų, audinių ar viso kūno apšvitos įvertinimui naudojamos efektinės dozės ir efektinės dozės galios sąvokos. **Efektinė dozė (E)** lygiavertė dozė pakoreguota, atsižvelgiant į žmogaus organų ar audinių jautrį jonizuojančiajai spinduliuotei, tai yra padauginta iš svorinio audinių jautrio daugiklio (W_T). Jei apšvitos lauką sudaro kelios dedamosios, tai [16]:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} , \quad (1.5)$$

čia: H_T - T organo ar audinio lygiavertė dozė,

w_T - svorinis audinių jautrio daugiklis,

$D_{T,R}$ - T audinio arba organo vidutinė sugertoji dozė.

Matavimo vienetas džaulis kilogramui (J/kg). Jis vadinamas sivertu (Sv).

Svorinis audinių jautrio daugiklis žymimas W_T . Tai bedimensinis dydis. Jis priklauso nuo žmogaus organų ar audinių jautrio jonizuojančiajai spinduliutei. Žmogaus organai, pagal jautrį jonizuojančiajai spinduliutei skirstomi į tris grupes [16]:

1. Visas kūnas, lyties liaukos, kaulų čiulpai.
2. Raumenys, skydliaukė, kepenys, inkstai, riebaliniai audiniai, virškinimo traktas, plaučiai.
3. Oda, kaulai, riešai, žastai, blauzdos, pėdos.

Kuo jautresni jonizuojančiajai spinduliutei organai, tuo aukštesnei grupei jie priklauso ir tuo didesnis audinių jautrio daugiklis W_T . Mažiausias audinių jautrio daugiklis W_T odos ir kaulų paviršiaus ($W_T = 0,01$), didžiausias lyties liaukų ($W_T = 0,20$). Efektinė dozė (E) tiesiog proporcinga audinių jautrio daugikliui W_T . Kuo didesnis W_T , tuo didesnė efektinė dozė, savo ruožtu tuo didesnė efektinės dozės galia.

Siekiant išvengti nepagrįstos apšvitos nuo žalingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio, būtina apibrėžti reikalavimus, ribojančius apšvitą. Lietuvoje taikomos apšvitos dozių ribos yra nustatytos Lietuvos higienos normoje HN 73-2001 "Pagrindinės radiacinės saugos normos". Apšvitos dozių ribos, taikomos profesinei ir gyventojų apšvitai, pateiktos 1.2. lentelėje.

1.2 lentelė. Apšvitos dozių ribos [16]

Taikymas	Dozės riba	
	Profesinė apšvita	Gyventojų apšvita
Efektinė dozė	20 mSv per metus 5 metus iš eilės	1 mSv per metus 5 metus iš eilės
Metinė lygiavertė dozė:		
akies lęšiukui	150 mSv	15 mSv
odai	500 mSv	50 mSv
galūnėms	500 mSv	

Iš 1.2. lentelės duomenų matyti, kad leistina profesinė apšvita didesnė, nei gyventojų apšvita. Asmenų nuo 16 iki 18 metų amžiaus, mokomų būsimo samdomo darbo, ir moksleivių bei

studentų nuo 16 iki 18 metų amžiaus, kuriems būtina naudotis šaltiniais mokymo tikslams, profesinė apšvita turi būti ne didesnė negu:

- a) 6 mSv metinė efektinė dozė;
- b) akies lęšiukui - 50 mSv metinė lygiavertė dozė;
- c) odai ir galūnėms - 150 mSv metinė lygiavertė dozė.

Lentelėje nustatytos apšvitos dozių ribos netaikomos asmenims, kurie sąmoningai ir savo noru padeda pacientams, diagnozuojamiems ir gydomiems medicinine apšvita. Kiekvienas toks suaugęs asmuo paciento diagnostikos ir gydymo periodu gali būti apšvitintas ne didesne kaip 5 mSv doze, o vaikai, lankantys tokius pacientus, - ne didesne kaip 1 mSv doze per visą diagnostikos ir gydymo kursą.

Įvykus branduolinei ar radiacinei avarijai, taikomos tokios apšvitos dozių ribos:

- a) darbuotojų, dalyvaujančių likviduojant avariją, gauta apšvitos dozė turi neviršyti 100 mSv;
- b) jeigu gelbėjama žmonių gyvybė, darbuotojų, dalyvaujančių likviduojant avariją, gauta apšvitos dozė turi neviršyti 500 mSv. Šiuo atveju reikia siekti, kad būtų išvengta lemtųjų (determinuotųjų) sveikatos efektų ir tik įsitikinus, kad veiksmų nauda kitiems žmonėms bus didesnė negu jų pačių rizika.

Pastaba. Kariams reguliuojančioji institucija gali nustatyti specialius avarinės apšvitos ribojimo lygius.

1.5. Gamtinė apšvita

Gamtinę apšvitą - tiek išorinę, tiek vidinę - sąlygoja ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th izotopų šeimų skilimo produktai ir ^{40}K izotopas, bei kosminė spinduliuotė. Urano ir torio skilimo grandinėse radiacinės saugos požiūriu svarbiausi yra ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Pb ir ^{210}Po . Pagrindiniais gama spinduliuotės šaltiniais laikomi ^{208}Tl ir ^{228}Ac - ^{232}Th skilimo produktai, ir ^{214}Pb ir ^{214}Bi - ^{238}U skilimo produktai [18].

Gamtinį kalį sudaro trys izotopai: du stabilūs (^{39}K ir ^{40}K) ir vienas radioaktyvusis - ^{40}K (0,018 % viso kalio kiekio; $T_{1/2} = 1,29 \cdot 10^9$ metų). Jis įeina į mineralų sudėtį, dalyvauja biogeninėje akumuliacijoje. ^{40}K branduoliams būdingas beta skilimas, kurio metu susidaro ^{40}Ca , ir elektrono pagavimas - ^{40}Ar susidarymas - bei gama kvantų spinduliuotė. Gama kvantų energija lygi 1,46 MeV, maksimali beta dalelių energija 1,31 MeV. Skylant 100 ^{40}K branduolių išspinduliuojami 10,7

gama kvantų ir 89,3 beta dalelių. Geocheminiu požiūriu ^{40}K yra vienas iš labiausiai paplitusių Žemėje cheminių elementų [8].

Didžiąją dalį LDG pažemio ore sudaro dozės galia, sąlygojama gamtinės kilmės radionuklidų, esančių dirvožemyje, spinduliuotės. Tai - urano, torio ir aktyviojo radioaktyviųjų šeimų elementai, bei ^{40}K . Dirvožemyje esančių radionuklidų spinduliuotės sukelta LDG pažemio ore priklauso nuo jų savitojo aktyvumo dirvožemyje. Natūraliosios kilmės radionuklidų kiekis dirvoje kelerius metus nekinta ir jų įnašas į apšvitą yra pastovus toje pačioje vietoje.

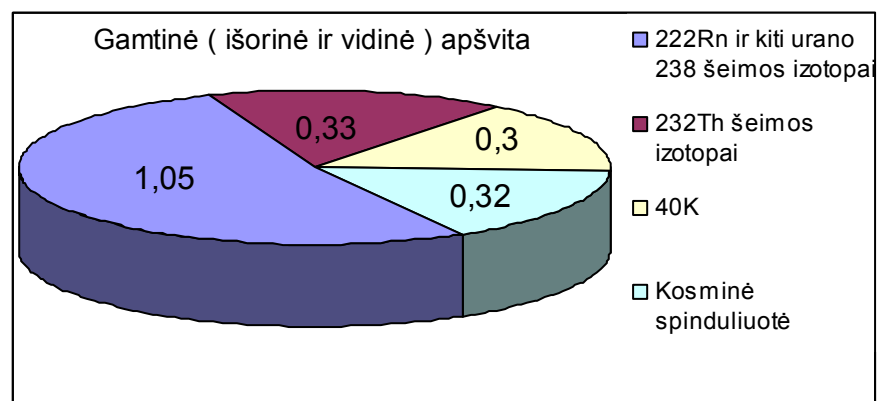
Dirvožemyje esančių radionuklidų sukelta LDG pažemio ore dažnai skaičiuojama naudojant tokią formulę [8]:

$$H = \sum C_i p_i ; \quad (1.6)$$

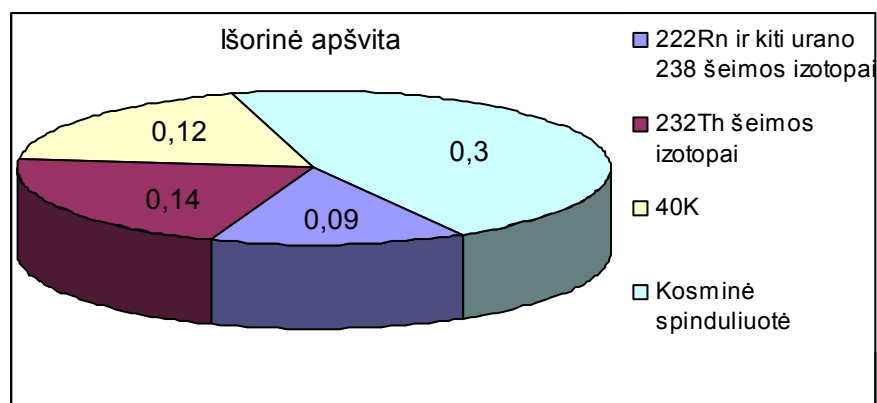
čia: C_i - radionuklidų savitasis aktyvumas dirvoje, p_i - dozės galios koeficientai.

[19; 20; 21] darbuose šis parametras buvo nustatomas naudojant platų energijų spektrą, įskaitant išsklaidytąją spinduliuotę. Bet kiti autoriai šią uždavinį susiaurino ir daugeliu atvejų [22; 24; 25; 26; 27] dozė pažemio ore, sąlygota natūraliosios kilmės radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės, skaičiuojama pagal (1.6) formulę naudojant tik aiškiausių energetinių linijų pagrindimų gamtinių radionuklidų dozės koeficientus ir savitojo aktyvumo vertes: ^{238}U ir jo skilimo produktų ^{232}Th ir jo skilimo produktų, bei ^{40}K .

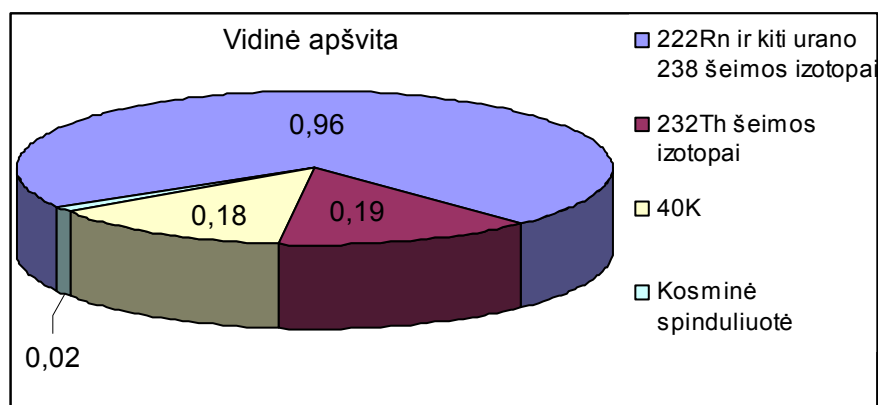
Apie gamtinės spinduliuotės (išorinės ir vidinės) sąlygojamą vidutinę metinę apšvitą duomenys pateikiami paveiksluose 6, 7 ir 8. Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita gali būti tiek vidinė, tiek išorinė. Radionuklidai gali patekti į žmogaus organizmą įkvėpus, prarijus ar per odą ir švitinti jį iš vidaus. Tai dar pavojingiau negu išorinės spinduliuotės atveju.



1.6 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv) [28]



1.7 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv) (išorinė) [28]



1.8 pav. Vidutinė metinė gamtinė žmonių apšvita (mSv) (vidinė) [28]

Pagal aukščiau pateiktus duomenis, apšvitos, kurią vidutiniškai žmogus gauna per metus, nuo gamtinių šaltinių, didžiąją dalį lemia ^{222}Rn ir kiti ^{238}U šeimos izotopai. Žmogų spinduliuotė pasiekia ir iš kosmoso, statybinių medžiagų, bei dirvožemio. Tačiau didžiausią dozę žmogus dažniausiai gauna iš radono. Vidinę apšvitą sukelia radionuklidai, patekę į žmogaus organizmą (pavyzdžiui įkvėpus – radonas). Didžiąją dalį vidinės apšvitos lemia radonas. Lauke radonas aptinkamas pažemio ore, tačiau vėjas jį išsklaido, bet pastatuose radonas kaupiasi.

Išorinė apšvita skiriasi nuo vidinės iš esmės tuo, kad švitinimo šaltinis yra išorėje, o ne viduje [28].

Radionuklidai statybinėse medžiagose

Anksčiau apie radionuklidų aktyvumą statybinėse medžiagose nebuvo galvota. JAV Kolorado valstijoje 1952-1966 metais 200000 t urano pramonės atliekų buvo sunaudota namų statybai bei gatvių dangoms. Vien tik radioaktyviojo radžio savitasis aktyvumas šiose atliekose buvo $4600 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Švedijoje 1930-1975m. namų statybai naudotame betone šio izotopo savitasis

aktyvumas siekė $1300 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. 1975m. buvo uždrausta jį naudoti, bet 10% Švedijos gyventojų dar tebegyvena pastatuose, kuriuose radono tūrinis aktyvumas yra $1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, o nevėdinamose $20000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Vidutinis metinis radono tūrinis aktyvumas atmosferos pažemio oro sluoksnyje kinta nuo 0,1 iki $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, o pastatuose nuo 5 iki $25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [29].

Lietuvoje naudojamose statybinėse medžiagose urano ir torio šeimoms priklausančių gamtinių radionuklidų savitasis aktyvumas kinta nuo 10 iki $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. ^{40}K savitasis aktyvumas maždaug 10 kartų didesnis, tuo tarpu medienoje vidutiniškai tik $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [29].

Radiacinę saugą tuo atveju, kai žmogų veikia gamtinės apšvitos šaltiniai, reglamentuoja Lietuvos higienos norma HN 85:2003 "Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos". Šioje higienos normoje nustatyti didžiausi radono tūriniai aktyvumai gyvenamosiose patalpose ir darbo vietose, leistini išorinės gama spinduliuotės lygiavertės dozės galios patalpose lygiai, leistini radono tūriniai aktyvumai vandenyje, leistini radionuklidų kiekiai statybinėse medžiagose ir statybiniuose gaminiuose, apibrėžta radono atžvilgiu pavojingų regionų sąvoka, nurodyta, kokių radiacinės saugos priemonių reikia imtis orlaivių igulų atžvilgiu, aprašyti šių dydžių nustatymo būdai [30].

Kad žmonių apšvita nuo statybinių medžiagų būtų optimizuota, 1999 m. buvo nustatytas sertifikuojamų statybinių medžiagų, kurias privaloma radiologiškai ištirti, sąrašas. Į šį sąrašą įtrauktos medžiagos, kurios dėl didelės naudojimo apimties arba sudėties gali sąlygoti didžiausias dozes: smėlis, skalda, žvirgždas, perlitas, keramzitas, granitas, cementas. Šis sąrašas įsigaliojo nuo 2000 m. sausio 1 d [29].

Gama spektrometru buvo matuojami radionuklidų kiekiai statybinėse medžiagose. Apibendrinti matavimų rezultatai pateikti 1.3. lentelėje.

1.3 lentelė. Vidutiniai ir didžiausieji radionuklidų savitieji aktyvumai tirtose statybinėse medžiagose [29]

Radionuklidas	Vidutinis aktyvumas ir statistinis nuokrypis (95%), $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	Maksimalus aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$
Ra-226	42.6 ± 22.0	250
Th-232	26.0 ± 11.4	90
K-40	377 ± 182	1310
Cs-137	1.4 ± 0.4	3

Iš 1.3. lentelės duomenų matyti, kad didžiausias maksimalus aktyvumas yra ^{40}K , net $1310 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Didžiausi ^{226}Ra tūriniai aktyvumai užfiksuoti molyje, lengvajame betone, šlake, keramzite, ^{232}Th - molyje, pelenuose, keramzite, granito skaldoje, šlake, ^{40}K - molyje, maltose apdailos plytose, keramzite, granite. ^{137}Cs aktyvumai, viršijantys minimalų detektuojamą lygį, aptikti medžio gaminiuose. Viename šlako bandinyje aktyvumo rodiklis viršijo pirmajai statybinių medžiagų klasei keliamus reikalavimus.

Nustatyta, jog gamtinės kilmės radionuklidų aktyvumai statybinėse medžiagose tarpusavyje yra susiję. Gauti tokie aktyvumų koreliacijos koeficientai: ^{226}Ra su ^{232}Th – 0,84, ^{226}Ra su ^{40}K – 0,49, ^{232}Th su ^{40}K – 0,74. Visais šiais atvejais ryšys tarp radionuklidų aktyvumų egzistuoja. Tai rodo, jog esant aukštesniam kurio nors vieno gamtinės kilmės radionuklido aktyvumui, tikimybė, jog kitų radionuklidų aktyvumai bus irgi aukštesni, viršija 95%.

Kai kurios minėtos statybinės medžiagos yra naudojamos kelių tiesimui. Jų gamtinės kilmės radioaktyvumas turi įtakos LDG pažemio ore formavimuisi šalia magistralių.

Gamtinių radionuklidų, randama Lietuvoje naudojamose statybinėse medžiagose. Jų efektingi aktyvumo lygiai (A_{eff}) yra pateikti 1.4. lentelėje. Matavimus atliko valstybinio visuomenės sveikatos centro Radiologinės apsaugos skyrius.

1.4 lentelė. Statybinių medžiagų efektingi aktyvumo lygiai A_{eff} [29]

Statybinės medžiagos ir jų žaliavos	Ištirtų mėginių skaičius	A_{eff} , $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ kitimo ribos
Medis ir jo dirbiniai	7	2,0-26
Stiklas, plastmasės ir cheminės medžiagos	51	3,0-34
Smėlis ir žvyras	50	2,0-165
Molis ir jo gaminiai	59	18-330
Cementas	16	67-140
Granito skalda	18	88-350
Kalkės	12	3,3-84
Kitos	10	1,1-24

Iš 1.4. lentelės duomenų matyti, kad smėlio ir žvyro efektingi aktyvumo lygiai gali siekti $165 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, o granito skaldos net - $350 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Yra nustatyti didžiausi leistini gamtinių radionuklidų, randamų statybinėse medžiagose ir kelių dangose, efektingi aktyvumo lygiai:

1. Statybinėse medžiagose, naudojamose **statomiesiems namams**, didžiausias leistinas efektingis aktyvumo lygis [29]:

$$A_{\text{eff}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}} < 370 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}; \quad (1.7)$$

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

2. Statybinėse medžiagose, naudojamose **gyvenviečių kelių dangoms**, didžiausias leistinas efektingis aktyvumo lygis $A_{\text{eff}} < 740 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.
3. Statybinėse medžiagose, naudojamose **ne gyvenviečių kelių dangoms**, didžiausias leistinas efektingis aktyvumo lygis $A_{\text{eff}} < 1350 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [28].

Iš pateiktų duomenų matyti, kad ne gyvenviečių kelių dangoms, į kurias įeina ir magistralinių kelių dangos leistinas efektyvus yra didžiausias. Efektyvus aktyvumo lygis bus skaičiuojamas, pagal eksperimento duomenis. Šiame darbe tiriamas kelio dangos ir dirvožemio aktyvumas, tuo siekiama nustatyti kelių tiesimo įtaką lygiavertės dozės galios formavimuisi.

Gamtinių radionuklidų savitasis aktyvumas Lietuvos dirvožemiuose

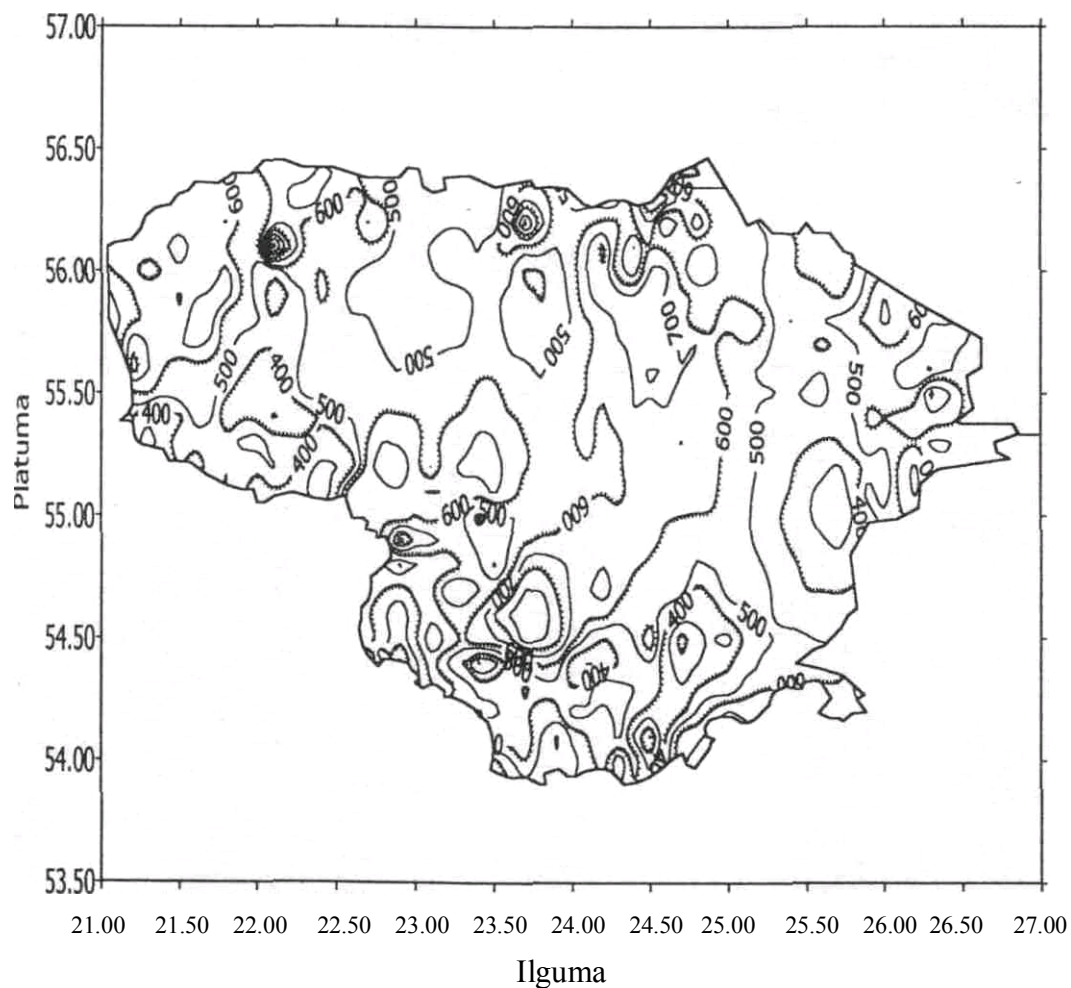
Radionuklidų šaltiniai yra gamtinės ir dirbtinės kilmės. Natūraliosios kilmės radionuklidai patenka į atmosferą iš viršutinių žemės sluoksnių, taip pat susidaro sąveikaujant kosminiams spinduliams su ore esančių medžiagų atomų branduoliais. Gamta ir žmogus prisitaikė prie natūraliosios kilmės radionuklidų poveikio. Plačiausiai paplitę natūraliosios kilmės radionuklidai yra urano, torio ir aktyvio skilimo produktai bei ^{40}K .

Pastebėta, kad nėra pilnos radioaktyviosios pusiausvyros tarp ^{214}Pb ir ^{214}Bi , todėl ^{226}Ra pusiausvyrinis savitasis aktyvumas skaičiuotas kaip ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi išmatuoto savitojo aktyvumo vidurkis. Taip pat nėra radioaktyviosios pusiausvyros tarp ^{232}Th ir jo skilimo produkto ^{208}Tl savitojo aktyvumo. Jų savitojo aktyvumo santykis priimamas lygus 1,6 [8].

Pagrindinių gama spindulių savitasis aktyvumas dirvožemyje išmatuotas visoje Lietuvos teritorijoje 0-5 cm dirvožemio sluoksnyje. Matuotas šių radionuklidų savitasis aktyvumas dirvožemyje: ^{226}Ra ir jo skilimo produktų, ^{214}Pb ir ^{214}Bi , ^{208}Tl , kaip ^{232}Th skilimo produkto, bei ^{40}K .

1.5 lentelė. Natūraliosios kilmės gama spindulių savitasis aktyvumas Lietuvos dirvožemiuose [8]

Statistinis Parametras	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$		
	^{40}K	^{226}Ra	^{208}Tl
Vidutinė vertė	540	11	6
Maksimali vertė	1920	55	50
Minimali vertė	40	1	1
Plotis	1880	54	49
Mediana	440	4	4
Vidutinis kvadratinis nuokrypis	360	11	8
Dispersija	129600	120	65
Matavimų skaičius	1066	370	330



1.9 pav. ^{40}K savitojo aktyvumo dirvožemyje pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [8]

1.9. paveiksle pavaizduotas ^{40}K savitojo aktyvumo dirvožemyje pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje. Šio radionuklido kiekiai įvairiuose Lietuvos regionuose nedaug skiriasi, tačiau didžiausios jo savitojo aktyvumo vertės pastebėtos Šiaurės Rytų regiono šiaurinėje dalyje ir Vidurio Lietuvoje. Mažiausios ^{40}K savitojo aktyvumo dirvožemyje vertės išmatuotos Vakarų Lietuvoje, pajūryje [8].

1.6. Veiksniai, įtakoiantys LDG pažemio ore formavimąsi

Pažemio ore gama spinduliuotės intensyvumą, o tuo pačiu ir lygiavertės dozės galią (LDG) lemia radionuklidų, esančių ore ir žemės paviršiuje, jonizuojančioji spinduliuotė bei kosminė spinduliuotė.

Pažemio ore radionuklidų kiekis keičiasi dėl įvairių priežasčių. Natūraliosios kilmės radionuklidai patenka į atmosferą iš žemės paviršiaus arba atsiranda joje dėl kosminės spinduliuotės sąveikos su atmosfera sudarančių medžiagų atomų branduoliais. Jų tūrinis aktyvumas pažemio ore

keičiasi priklausomai nuo meteorologinių sąlygų. Radionuklidų iškritos iš atmosferos mechanizmas siejasi su daugeliu geofizinių procesų, o paviršinio aktyvumo tankio kaita priklauso nuo meteorologinių sąlygų ir sinoptinių situacijų.

Pažemio ore ir dirvožemyje esantys radionuklidai yra natūraliosios kilmės: uranas, toris, aktinis ir jų skilimo produktai, ^{40}K , kosmogeniniai radionuklidai (^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{35}S , ^{32}P ir kt.), bei dirbtinės kilmės: branduolinės veiklos produktai (^{14}C , ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs) [30].

Pažemio ore lygiavertės dozės galia, sukelta esančių dirvoje radionuklidų spinduliuotės, tiesiogiai priklauso nuo jų savitojo aktyvumo dirvožemyje. Natūraliosios kilmės radionuklidų savitasis aktyvumas dirvožemyje priklauso nuo dirvožemio tipo.

Kosminės spinduliuotės įnašas į LDG pažemio ore yra apie 30%. Gamtinių radionuklidų koncentracija kinta priklausomai nuo meteorologinių sąlygų, saulės aktyvumo ir kitų faktorių. Gamta ir žmogus yra prisitaikę prie natūralios kilmės radioaktyviųjų medžiagų poveikio, jei nėra radionuklidų sankaupų tam tikrose vietose [8].

Plačiausiai paplitę natūralios kilmės radionuklidai yra iš torono ir urano šeimos bei kalis. Vidutinė radono koncentracija dirvožemyje būna $3\text{--}4\text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, urano – apie $26\text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, o kalio – $40\text{--}600\text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [8].

Pažemio ore lygiavertės dozės galią sąlygoja radioaktyviųjų medžiagų, esančių ore ir žemės paviršiuje, jonizuojančioji spinduliuotė bei kosminė spinduliuotė. Ženklią įtaką pažemio ore lygiavertės dozės galios vertei turi ^{40}K jonizuojančioji spinduliuotė [31], o šių verčių kaitai per parą ir metus – ^{222}Rn ekshaliacijos iš dirvožemio intensyvumo kitimas, kurį savo ruožtu įtakoja meteorologiniai parametrai, tokie kaip sniego danga, šalio gylis, temperatūrų, esančių ore ir žemės paviršiuje, skirtumas, kritulių kiekis ir t.t. [32],[33]. Jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertės dozės galia ore (LDG) kinta per parą ir per metus. Nustatyta, kad Lietuvoje skirtumas tarp didžiausių ir mažiausių LDG mėnesių vidutinių verčių per 1995-1999 metus siekė $9\text{ pSv}\cdot\text{s}^{-1}$ [34].

Jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumą, tuo pačiu ir LDG pažemio ore, keičia ^{222}Rn skilimo produktų, ^{214}Pb ir ^{214}Bi , jonizuojančioji spinduliuotė. LDG pažemio ore sukeltos šitos spinduliuotės, dalis sudaro nuo 2 iki 20% bendrosios LDG, įskaitant radionuklidų, esančių dirvožemyje, spinduliuotę bei kosminę spinduliuotę. ^{220}Rn (torono) skilimo produktų jonizuojančiosios spinduliuotės indėlis į LDG pažemio ore yra žymiai mažesnis negu ^{222}Rn skilimo produktų.

Įvairių autorių nustatytos ^{222}Rn difuzijos koeficiento ir jo ekshaliacijos iš dirvos intensyvumo vertės žymiai skiriasi, nes jos priklauso ne tik nuo dirvožemio savybių, meteorologinių parametru, bet ir nuo skirtingų matavimo metodų.

^{222}Rn tūrinis aktyvumas ore keičiasi kintant meteorologiniams parametrams, per parą ir per metus. Priklausomai nuo regiono, ^{222}Rn tūrinis aktyvumas pažemio ore būna maksimalus vasarą-rudenį ir minimalus žiemą-pavasari [8].

Gamtinė aplinka nuolat patiria jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį. Tačiau ir nedidelis į aplinką patenkančių radioaktyviųjų atliekų kiekis gali turėti neigiamų padarinių. Susirūpinimą kelia dirbtiniai radionuklidai, kurie patenka į aplinką ne tik taršos vietoje, bet oro srautais pernešami dideliais atstumais. Iškritų intensyvumas yra meteorologinių sąlygų ir šaltinių pasiskirstymo sudėtinga funkcija.

Šiuo metu radionuklidais užterštose teritorijose ^{137}Cs yra pagrindinis dirbtinės kilmės ilgaamžis radionuklidas, kurio jonizuojančioji spinduliuotė turi išmatuojamą įnašą lygiavertės dozės galiai ore. Iškiriami du svarbiausi užtaršos ^{137}Cs periodai: branduolinio ginklo bandymų (1945-1980 m.) ir Černobylio atominės elektrinės (ČAE) (po 1986 m. balandžio 26d.) katastrofos laikotarpiai. Didžiausia ^{137}Cs dalis yra susikaupusi viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose bei miško paklotėje. Šis radionuklidas užteršė aplinką, formuoja papildomą jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozę. [8] darbo autoriai 1995 m. nustatė, kad 90% ^{137}Cs yra viršutiniuose 0–5 cm gylio dirvožemio sluoksniuose, 13,4% jų – miško paklotėje. Lietuvos dirvožemiuose nustatyta, kad vidutiniškai 0–5 cm sluoksnyje 1991–1992 m. ^{137}Cs kiekis sudarė $85\pm 7\%$ [35].

Po Černobylio atominės elektrinės avarijos 1986 m. radionuklidais užterštose teritorijose, suskilus trumpaamžiams radionuklidams, pagrindinį indėlį į išorinę apšvitą turi ^{137}Cs spinduliuotė [36]. Mažas ^{137}Cs judris dirvožemyje lemia tai, kad jo kaita dėl migracijos iš užteršto regiono 2 eilėmis yra mažesnė negu kaita dėl jo skilimo [37;38].

Dirvožemio paviršinis užterštumas ^{137}Cs , sukeltas iškritų, gali pasikeisti dėl jo vertikaliosios migracijos. ^{137}Cs vertikalusis pasiskirstymas dirvoje priklauso nuo dirvos ir augmenijos savybių, meteorologinių sąlygų ir šio radionuklido fizikinių-cheminių savybių.

Vertikali radionuklidų migracija dirvoje lemia tiesioginės apšvitos sumažėjimą ore.

1991-1992 m. labiausiai užteršti Lietuvos teritorijos plotai (pagal lėktuvinių matavimų rezultatus) buvo tiriami paimant bandinius ir juos analizuojant laboratorijoje [39]. Mažiau užterštose vietovėse ^{137}Cs savitasis aktyvumas dirvožemyje ir užterštumo tankis 0–5 cm sluoksnyje nagrinėtas 1995-1998 metais.

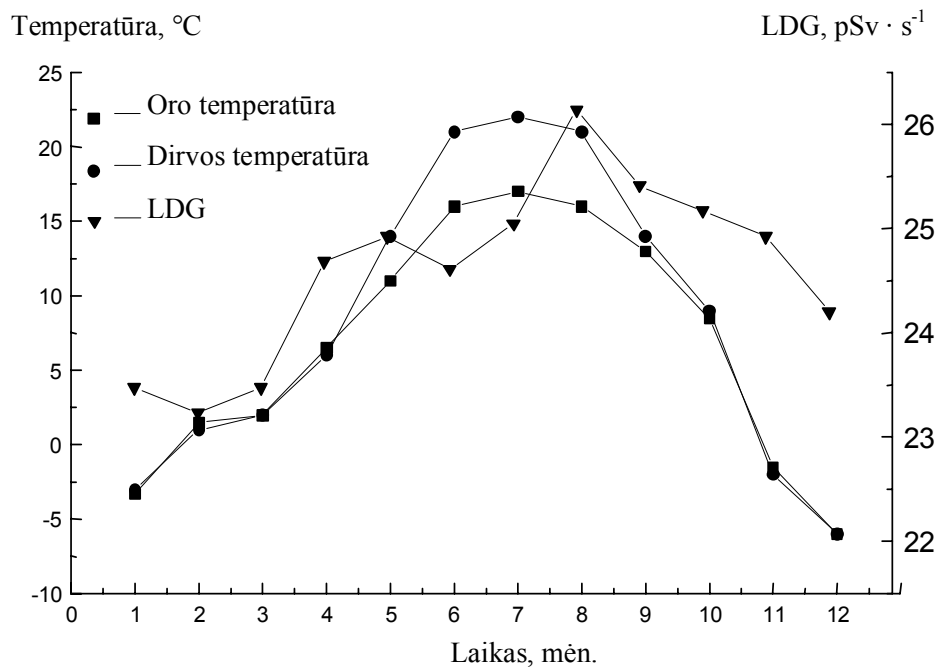
Radionuklidai, prieš patekdami iš oro į dirvą, nusėdo ant augalų, tik dalis jų tiesiogiai pateko į dirvą. Iš dirvos dalis ^{137}Cs per šaknis perėjo atgal į augalus. Laikui bėgant augalų biologinis aktyvumas įsisavinant ^{137}Cs mažėja [40]. Nustatytas ^{137}Cs kaupimasis augmenijoje. ^{137}Cs

savitojo aktyvumo žolėje ir užterštumo tankio atitinkamame dirvožemyje santykis ($0,103 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$) yra truputį didesnis negu samanose ($0,009 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$). Daugiausiai ^{137}Cs 2000m. aptikta paparčiuose, ^{137}Cs savitojo aktyvumo vidurkis paparčiuose $253 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, o ^{137}Cs savitojo aktyvumo juose ir užterštumo tankio dirvožemyje toje pačioje vietoje santykis lygus $0,142 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ [40].

LDG pažemio ore sąlygoja radioaktyvios medžiagos, esančios ore ir žemės paviršiuje. Šis parametras buvo reguliariai matuojamas nuo 1990 metų 17-je postų Lietuvos teritorijoje. Devyniose Lietuvos hidrometeorologijos stotyse lygiavertė dozės galia pažemio ore matuojama AGIR įrenginiais (automatizuotais gama intensyvumo registratoriais). Įrenginio jutiklį sudaro NaI kristalas. Kitose stotyse veikia suomių firmos radiometrai–spektrometrai RADIS: lygiavertės dozės galia pažemio ore matuojama Geigerio-Miulero skaitikliu, o gama spinduliuotės energijų spektras analizuojamas scintiliaciniu NaI jutikliu–spektrometru [8].

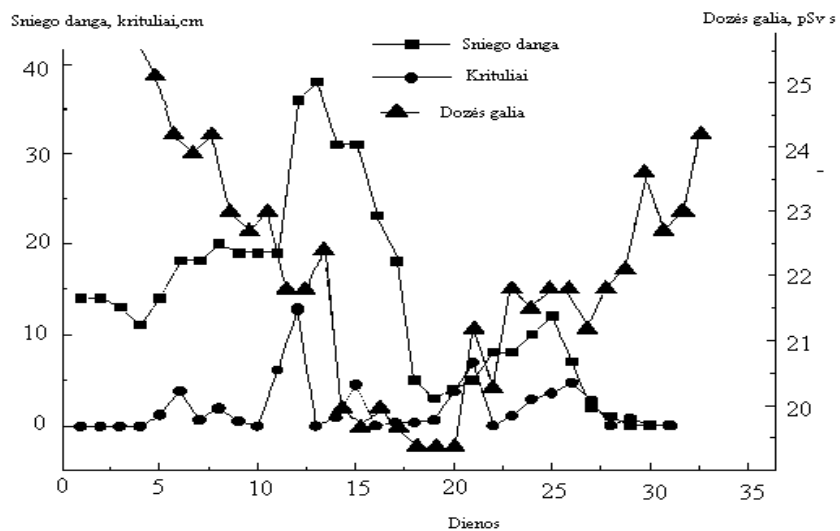
Vidutinės metinės LDG vertės per 1995-1999 laikotarpį atskirais metais keitėsi nuo $24,4 \text{ pSv} \cdot \text{s}^{-1}$ iki $25,6 \text{ pSv} \cdot \text{s}^{-1}$. Didžiausias skirtumas tarp maksimalių ir minimalių LDG verčių pažemio ore buvo nustatytas 1996 m. ($9 \text{ pSv} \cdot \text{s}^{-1}$). Pažemio ore lygiavertės dozės galia per metus turi minimalią vertę žiemos pabaigoje – pavasario pradžioje, o maksimalią – vasaros pabaigoje – rudens pradžioje. Maksimalią vertę tikriausiai lemia oro ir dirvos temperatūros bei jų skirtumo poveikis (1.10 pav.), taip pat – padažnėję rudeniniai krituliai. Ore lygiavertės dozės galios verčių priklausomybė nuo kritulių kiekio yra sudėtinga ir nevienareikšmė. Nustatyta, kad ore lygiavertės dozės galia didėja stipriai lyjant, o nedidelio lietaus metu tokio poveikio nėra. Po ilgos sausros lietaus pradžioje šis dydis auga, bet po neseniai buvusio lietaus – šiek tiek mažėja. Toks kritulių įtakos efektas pasitvirtina ir esant krituliams sniego pavidale [8].

1990-1995 m. nustatyta LDG kaita per parą. Maksimalios vertės gautos 3–6 val., o minimalios – 15–18 val. Gautas kitimas atitinka darbe pateiktiems rezultatams. LDG kaitos grafiko forma panaši į ^{222}Rn tūrinio aktyvumo atmosferoje kaitos per parą grafiko formą, matuoto 1996 m. prietaisu AlphaGuard [8].



1.10 pav. Lygiavertės dozės galios kaita Lietuvoje per metus (1996 m.) [8]

Tačiau sniego danga apsunkina ²²²Rn ekshaliaciją iš dirvožemio ir tuo pačiu mažina ore lygiavertės dozės galios vertes. Nustatyta, kad žemės išalo gylio ir dozės galios kaita neigiamai koreliuoja. Dideliais išalo gyliu ir sniego dangos storiui galima paaiškinti ore lygiavertės dozės galios reikšmių minimumą (1.11 pav.).

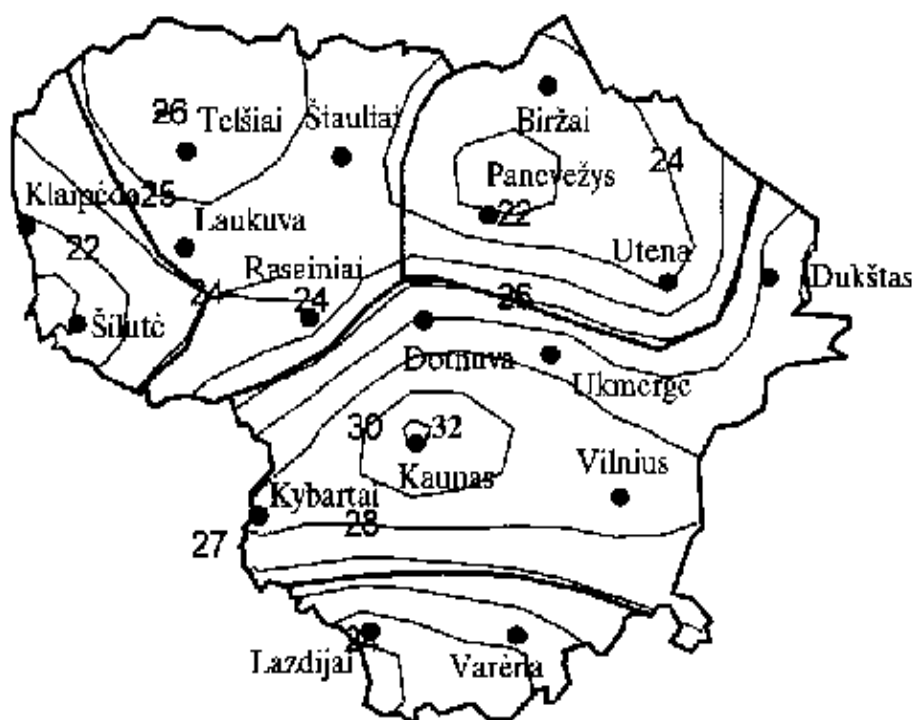


1.11 pav. LDG kaita priklausomai nuo kritulių intensyvumo [8]

Kaip matyti iš 1.11 pav., LDG pažemio ore keičia lietaus ar sniego krituliai, ypač sniego: krituliai išplauna iš oro radionuklidus, daugiausia radono skilimo produktus, kurie susirenka žemės

paviršiuje ir didina LDG pažemio ore. Kadangi vyrauja trumpaamžiai radono skilimo produktai, pavyzdžiui, ^{214}Pb ir ^{214}Bi , tai ir dozės galios padidėjimas būna trumpalaikis.

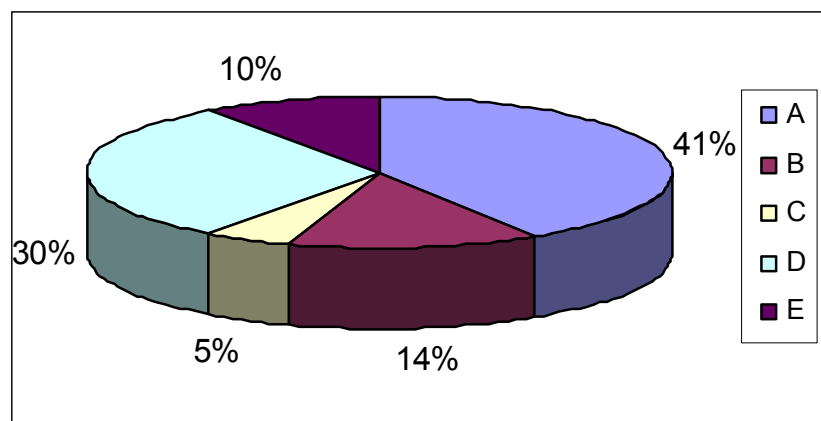
Pagal LDG vertes pažemio ore Lietuvoje išsiskiria trys regionai: šiaurės-rytų (vidutinė vertė 24 ± 2 pSv·s⁻¹), vidurio Lietuvos (31 ± 4 pSv·s⁻¹) ir vakarų Lietuvos (22 ± 2 pSv·s⁻¹). Tai atitinka ^{40}K savitųjų aktyvumų dirvožemyje ir radono patalpose pasiskirstymą. Šitokiais parametrais išskirtimi dar šiaurės-vakarų (26 ± 3 pSv·s⁻¹), ir pietų Lietuvos (23 ± 2 pSv·s⁻¹) regionai. Tačiau pastarųjų LDG paklaidų ribose yra artimos anksčiau minėtųjų regionų vertėms (1.12 pav.).



1.12 pav. LDG pasiskirstymas Lietuvoje 1994-1999 m., pSv·s⁻¹ [8]

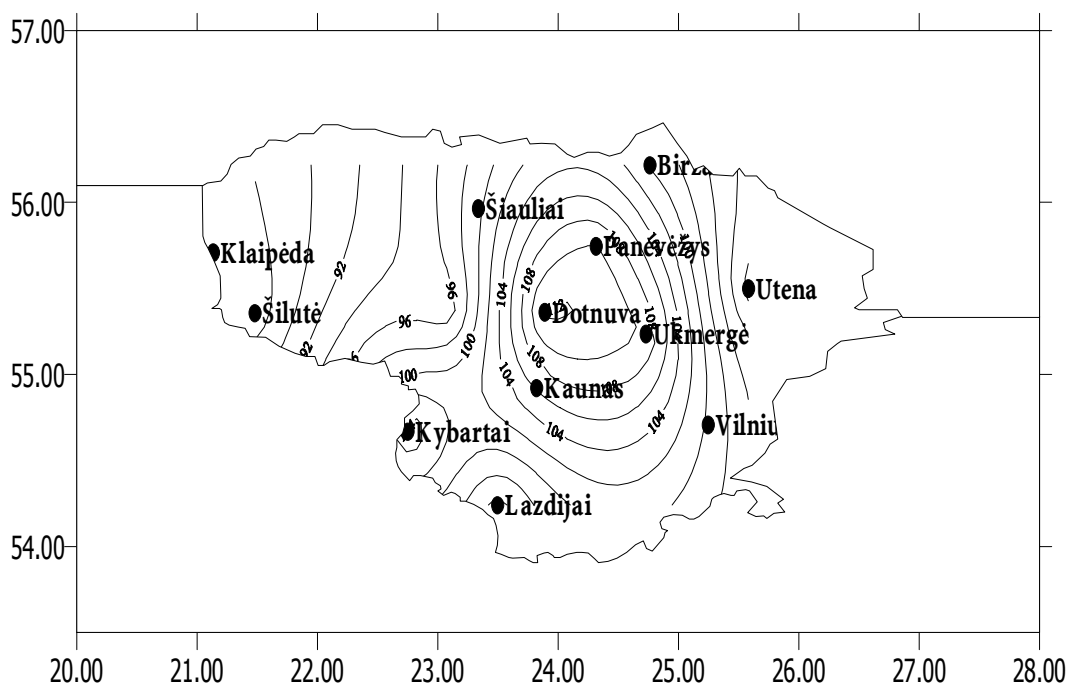
Per keletą pastarųjų metų (1994-2000 m.) analizuojant lygiavertės dozės galios pažemio ore kaitą per metus, pastebėta mažiausioji jos vertė didžiausiojo žemės išalo metu, padidėjimas pavasarį (gegužės, birželio mėn.) ir vasaros pabaigoje (rugpjūčio mėn.). 2002 m. šitokio ryškaus ir tendencingo lygiavertės dozės galios pažemio ore pasiskirstymo nepastebėta: neužregistruotas rezultatų mėnesinis minimumas žemės išalo laikotarpiu, neišryškėjo rugpjūčio mėn. LDG padidėjimas. Tačiau lygiavertės dozės galia pastebimai padidėjo gegužės mėnesį. Tikriausiai, tai sietina su išskirtinėmis šiais metais meteorologinėmis sąlygomis [8].

Išorinės lygiavertės dozės galia, sąlygota radionuklidų, esančių dirvožemyje, spinduliuote, nustatyta remiantis dozės koeficientais, apskaičiuotais priemolio, priesmėlio, molio ir smėlio dirvožemiams.



1.13 pav. LDG pažemio ore virš priemolio dirvožemio (prie Vilniaus), sukelta: A – ^{40}K spinduliuotės, B – ^{226}Ra ir jo skilimo produktų spinduliuotės, C – ^{232}Th skilimo produktų spinduliuotės, D – kosminės spinduliuotės, E – ^{214}Pb ir ^{214}Bi , esančių ore, spinduliuotės [8]

Remiantis šitais koeficientais, o taip pat radionuklidų savitųjų aktyvumų vertėmis, rasta, kad išorinės lygiavertės dozės galia, sąlygota radionuklidų, esančių dirvožemyje, spinduliuote sudaro 30 – 46 % nuo bendros lygiavertės dozės galios pažemio ore, iš kurių ženklią dalį sudaro ^{40}K (vidutiniškai 20%); ^{226}Ra bei jo skilimo produktai sudaro vidutiniškai 6%, ^{232}Th bei jo skilimo produktai – 4 %.



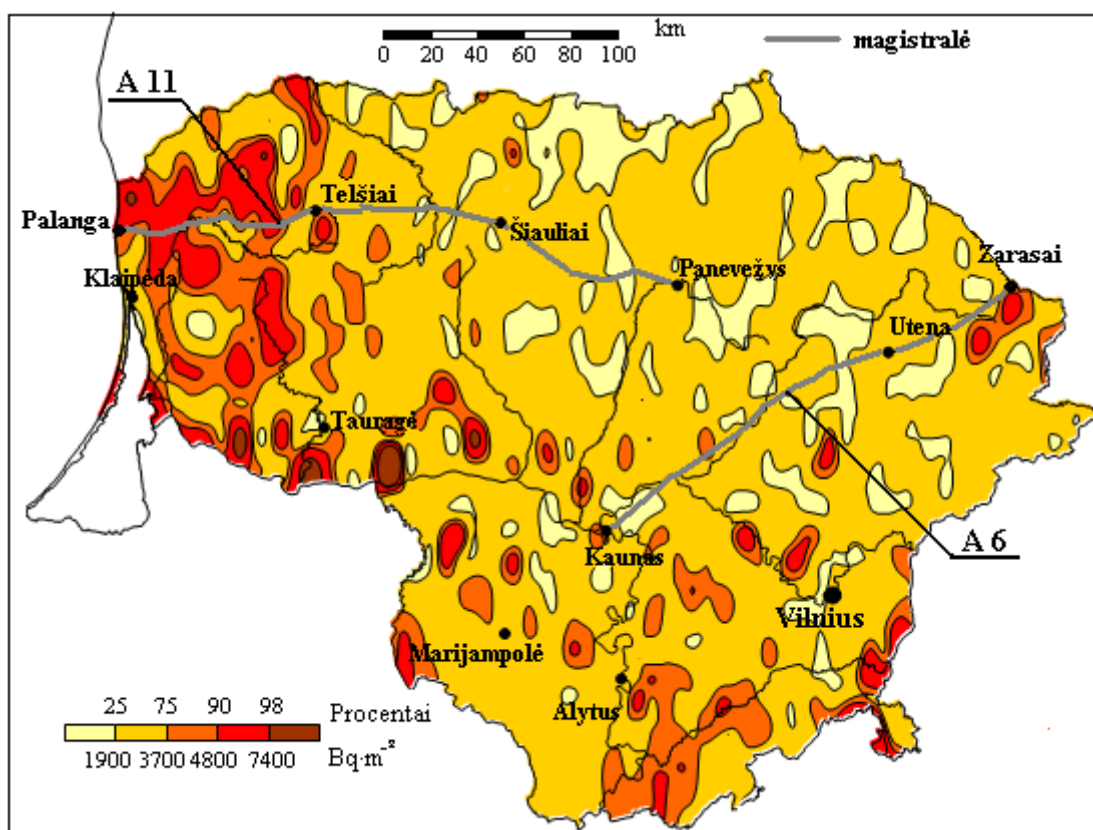
1.14 pav. LDG verčių pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje 2001 m., $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ [8]

Didžiausios LDG pažemio ore vertės 2001 metais nustatytos centrinėje Lietuvos dalyje - pagal 1.14 pav. duomenis apie $108 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Remiantis duomenimis, nustatytais iš minėto paveiklo

analizuojami rezultatai, gauti ekspedicijų metu tiesiogiai išmatavus LDG pažemio ore šalia magistralių A6 Kaunas – Zarasai ir A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga.

^{137}Cs jonizuojančiosios spinduliuotės įtaka labiau ženkli tose vietose, virš kurių po ČAE avarijos sklido radioaktyviomis medžiagomis užterštos oro masės. Užterštose ^{137}Cs „karštosė dėmės“ išorinės lygiavertės dozės galia siekia $2,5 \text{ pSv}\cdot\text{s}^{-1}$. ^{137}Cs iškritų netolygumas Lietuvoje matyti iš 1.15 pav. Užterštumo „dėmės“ nustatytos tose vietose, virš kurių praskriejo po Černobylio katastrofos radioaktyviosiomis medžiagomis užterštos oro masės. „Dėmės“ susidaryti įtakos turėjo žemės paviršiaus netolygumas, nevienodas miškingumas ir su tuo susijęs žemės paviršiaus įšilimo ne vienodumas.

Kaip minėta, lygiavertės dozės galiai pažemio ore ^{137}Cs savitasis aktyvumas dirvožemyje didelės įtakos neturi. Tačiau šio radionuklido savitasis aktyvumas dirvožemyje yra svarbus dirvos užtaršai radioaktyviosiomis medžiagomis ir su tuo susijusiai vidinei žmonių ir visos gyvūnijos apšvitai. Labiausiai užteršti ^{137}Cs yra vakarų ir pietvakarių regionai. Tose vietovėse ir pakelių tarša yra didžiausia. Žinoma, šitokio lygio tarša nekelia jokio pavojaus keleiviams ar pervežamoms medžiagoms, bet yra nagrinėtina kaip „foninė“ tarša. Kaip matyti iš 1.15 pav. duomenų, per padidintos užtaršos ^{137}Cs vietas driekiasi magistralė A11 Panevėžys-Šiauliai-Palanga.



1.15 pav. Taršos ^{137}Cs pasiskirstymo dirvožemyje po Černobylio avarijos žemėlapis: pilkai pažymėtos magistralės A6 Kaunas- Zarasai ir A11 Panevėžys-Šiauliai-Palanga [8]

2. DARBO METODAI IR PRIEMONĖS

2.1. Dozimetrinių tyrimų metodika

Dozimetriniais tyrimais nustatoma LDG pažemio ore. Taip pat atrankiniu būdu galima nustatyti pasirinkto regiono žemės paviršiaus užterštumą radionuklidais pagal jų sukeltą gama spinduliuotės intensyvumą pažemio ore.

Priemonės:

1. Scintiliacinis radiometras SRP–88 N, kurio rodmenys yra palyginti su valstybinį sertifikatą turinčio radiometro rodmenimis.
2. Tiriamo regiono žemėlapis.
3. Kompasas.
4. Globalinio pozicionavimo sistema GPS.
5. Planšetas, popierius, rašymo priemonės.

Scintiliaciniu geologiniu žvalgybiniu radiometru SRP – 88 N pasirinktoje vietoje prie pat žemės paviršiaus išmatuojama lygiavertė dozės galia ore (LDG), $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (prietaiso rodmenys numatyti $\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$, tačiau $1\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1} = 9\text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$).

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

Prietaisų pagrindiniai parametrai:

Navigacinis eTrex GPS imtuvas. Vienu metu prietaisas priiiminėja duomenis iš 12 palydovų. eTrex imtuvas turi 5 valdymo mygtukus, lengvai suprantamą grafinį meniu ir logiškas valdymo komandas. Kiekvienu momentu galima įvesti vietovės duomenis arba juos sužinoti iš prietaiso rodmenų. Vietovės koordinatės iš palydovų yra atnaujinamos kas 1 sekundę. Koordinatėms nustatyti pakanka susisiekti bent su keturiais palydovais.

Scintiliacinis geologinis žvalgybinis radiometras SRP–88 N. Prietaisas pritaikytas dirbti lauko sąlygomis, maitinamas elektros baterijomis; nešiojamas. Pagrindiniai parametrai:

- | | |
|---|--------|
| - energinis registracijos slenkstis, keV | 30, |
| - santykinė matavimų paklaida, % | 10, |
| - vieno matavimo laikas, s | 10, |
| - detektoriaus kristalo (NaJ (Tl)) matmenys, mm | 25×40. |

Prietaisas patogus nepertraukiamam zondavimui, kadangi apie lygiavertės dozės galios kaitą galima spręsti pagal rodyklinį indikatorių, kuris reaguoja nepertraukiamai.

Dirvožemyje gama kvantų siekis sumažėja apytikriai atvirkščiai proporcingai tankiui ir yra juntamas prie žemės paviršiaus iš 5–20 cm dirvos gylgio. Į tai turi būti atsižvelgiama matuojant lygiavertės dozės galią pažemio ore [40, 41, 42].

2.2. Diskretinių vietų dozimetriniai tyrimai.

Vietų parinkimas kompleksiniams autotransporto taršos tyrimams atlikti

Ekspedicijose aplinka tiriama kompleksiškai. Autotransporto taršai pakelių zonose nustatyti matavimai atliekami žiemos ir vasaros sezonais. Automagistralės ruože nustatomos vietovės, kuriose bus tiriama lygiavertės dozės galia pažemio ore. Vietovės ir matavimo taškai parenkami pagal visų taršos ingredientų matavimų numatytas tyrimų vietas. Kompleksinius taršos tyrimus sudaro: oro (vasarą), triukšmo (vasarą ir žiemą), jonizuojančiosios spinduliuotės (vasarą ir žiemą), dirvožemio (vasarą), stovinčio vandens telkinių (vasarą), sniego tirpsmo vandens (žiemą) matavimai bei laukinių gyvūnų migracijos analizė (žiemą). Vietovės nustatomos atsižvelgiant į tinkamumą matuoti visus taršos ingredientus. Matavimo vieta turi atspindėti automagistralę. Gyvenvietėse matuoti negalima, nes ten vykdoma pramonė ir kiti veiksniai įtakojantys taršos lygius, tyrimo objektas yra automagistralės pakelių zonos. Matuojama gyvenviečių prieigose, taip pat skirtingo reljefo sąlygomis (lygiose vietose, šlaituose ir įkalnėse, miškingose ir menkai medžiais apaugusiose vietose).

Skersiniame profilyje atstumai matavimams parinkti net iki 150 metrų atstumu nuo kelio. Šio parinkimo tikslas – išsiaiškinti ar reikia didinti ar ne šiuo metu galiojančią magistralinių kelių apsaugos zoną, kuri siekia 70 metrų iki buvusios 150 metrų. Matavimams atlikti sudaromas skersinis profilis; parinktuose taškuose automagistralių pakelių zonose, abiejose kelio pusėse. Skersinį profilį sudaro 1, 2, 3, 4, 5 ir daugiau taškų, atstumai tarp kurių parenkami pagal nustatinėjamų parametrų ypatybes.

Matuojant jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertės dozės galią pažemio ore, Skersinį profilį sudaro 5 taškai, kurie nuo važiuojamosios kelio dalies nutolę 7,5, 20, 50, 100, 150 m atstumu. Numatytose vietovėse parenkami matavimo ruožai, statmeni kelio kryptiai ir vietos, kuriose betarpiškai matuojama lygiavertės dozės galia pažemio ore. Parenkami trys ruožai parinktuose taškuose automagistralių pakelių zonose, abiejose kelio pusėse. Vasaros metu vienoje vietovėje matavimo ruožų skaičius gali būti padidintas.

Nustatinėjant ore kietąsias daleles, skersinį profilį sudaro 4 taškai. Pirmasis taškas yra 1 metro atstumu nuo kelio kai tik baigiasi važiuojamoji kelio dalis. Kiti taškai yra nutolę 2, 5 ir 10 metrų.

Matuojant triukšmo parametrus skersinis profilis sudaromas analogiškai kaip ir matuojant jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertę dozės galią pažemio ore, skersinį profilį sudaro 5 taškai, kurie nuo važiuojamosios kelio dalies nutolę 7,5, 20, 50, 100, 150 m atstumu.

Atliekant dirvožemio taršos tyrimus, skersinį profilį sudaro 10 ir daugiau taškų, kurie nuo važiuojamosios kelio dalies nutolę 1, 2, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 ir 150 m.

Tiriant chloridų kiekį sniego tirpsmo vandenyje, skersinį profilį sudaro 5 taškai. 1 – mas taškas yra prie pat kelio, tai yra kai tik baigiasi važiuojamoji kelio dalis, kiti taškai nuo kelio nutolę 1, 2, 3 ir 4 metrus.

Skersinio profilio principo negalima pritaikyti stovinčio vandens telkinių užtaršos nustatymui bei tiriant laukinių gyvūnų migraciją.

Stovinčio vandens telkiniams priskiriami melioraciniai grioviai, kelio grioviai, kūdros ir pan. Mėginiai analizei imami iš stovinčio vandens telkinio centro ir pakraščių, jie sumaišomi ir sudaromas vienas bendras sudėtinis mėginys.

Laukinių gyvūnų migracijos tyrimai atliekami kelio ženklų „atsargiai žvėrys“ galiojimo ribose.

2.3. Detalūs vietovės ruožo dozimetriniai tyrimai

Detalūs vietovės dozimetriniai tyrimai atliekami tuo atveju, jeigu taškuose užregistruojamos padidintos lygiavertės dozės galios pažemio ore vertės (150–180 nSv/h ir daugiau).

Vietovė, kurioje matuojama lygiavertė dozės galia pažemio ore, sąlyginai padalijama į kvadratus su pasirinktu kraštinės ilgiu. Kraštinės ilgis nustatomas pagal vietovės užtaršą radioaktyviomis medžiagomis (kitais: pagal gama spinduliuotės intensyvumą) ir vietovės sąlygas. Kvadrato kraštinės ilgis gali būti nuo vieno metro iki šimtų metrų. Kuo tankesnis matavimo tinklelis, tuo tikslesni rezultatai. Tiriamos vietovės sąlyginis suskirstymas kvadratais pažymimas popieriaus lape. Kiekvieno sąlyginio kvadrato centre išmatuojama lygiavertė dozės galia pažemio ore (3 kartus), o prietaisu GPS nustatomos vietovės koordinatės. Patogiausia dirbti dviems eksperimentatoriams. Pereinant iš vieno sąlyginio kvadrato į kitą, sekami dozometro indikatorinės rodyklės parodymai. Reikalui esant, atliekami papildomi matavimai arba koreguojamas matavimų tinklelis.

Baigus eksperimentą, laboratorijoje analizuojami matavimo rezultatai. Pirmiausia apskaičiuojami esamų matavimo rezultatų aritmetiniai vidurkiai, įvertinamos paklaidos. Tada kompiuteriu vietovės žemėlapyje nubraižomos lygiavertės dozės galios pažemio ore verčių izolinijos ar histogramos. Gauti rezultatai palyginami su atitinkamais matavimų rezultatais kitose Lietuvos teritorijos vietose ir padaromos išvados apie nagrinėjamos teritorijos žemės paviršiaus užterštumą radioaktyviosiomis medžiagomis [41,42].

Matavimo vietose rezultatai rašomi prietaiso rodmenų dimensijomis. Pavyzdžiui, matuojant prietaisu SRP – 88N rodmenys N dauginami iš 1000 ir užrašomi žurnale.

Matavimo rezultatai rašomi ekspedicijos žurnale esančioje lentelėje.

2.1 lentelė. vietovėje lygiavertės dozės galios požemio ore matavimo rezultatai

Matavimo ruožas	Lygiavertės dozės galia pažemio ore, nSv/h					Pastabos
	Matavimo vietos					
	1	2	3	4	5	
a						
b						
c						

Išmatuotasis rezultatas dalijamas iš 3,74 (kalibravimo koeficientas) ir dauginama iš 9 (perskaičiavimo nSv/h vienetais koeficientas). Galutinė rodmenų panaudojimo formulė yra:

$$\dot{H} = \frac{9 \cdot 10^3 N}{3,74}, \quad nSv/h; \quad (2.1)$$

Šalikelių zonos yra specifinės teritorijos. Todėl pirmiausia reikia parinkti reprezentacinius matavimo laukelius. Matuoti būtina šalia pakeinės ir už jos ribų. Ruošiantis dozimetriniams

tyrimams, reikia išanalizuoti jau atliktus dozimetrinių tyrimų rezultatus to regiono, per kurį driekiasi kelias.

Matavimo rezultatai kiekvienai vietai ir visai trasei (arba jos dalims) pateikiami lentelėje:

2.2 lentelė. vietovėje lygiavertės dozės galios pažemio ore matavimo rezultatai ir jų statistinė analizė

Vietovė	Statistinis parametras	LDG, nSv/h					
		Ž	1	2	3	4	5
	Vidutinė vertė						
	Minimali vertė						
	Maksimali vertė						
	Vid. kvadratinis nuokrypis						
	Dispersija						
	Mediana						
	Matavimų skaičius						

2.4. Radiometrinių tyrimų metodika ir įranga

Gama spektrometrijos taikymo sritis

Gama spektrometriniai tyrimai taikomi visiems mėginiams, kuriuose reikia nustatyti gama radionuklidų aktyvumus. Gama radionuklidų aktyvumų tyrimai atliekami tokiuose mėginiuose:

- ♦ statybinėse medžiagose ir statybinėse žaliavose,
- ♦ aplinkos mėginiuose,
- ♦ nestandartinės geometrijos mėginiuose.

Iš esmės, gama spektrometrinius matavimus galima atlikti bet kokiuose mėginiuose. Pagrindinis ribojantis faktorius yra susijęs su matavimo geometrija ir mėginių tankiu. Turi būti

atliekami standartinės geometrijos mėginių matavimai. Naudojamos dvi geometrijos – 500 ml Marielli ir 50 ml cilindro. Visais atvejais prioritetą turi Marinelli geometrija, kadangi matuojami radionuklidų aktyvumai didesnio tūrio mėginiuose negu 50 ml cilindruose.

Nuo mėginių tankio priklauso gama spinduliuotės sugėrimas pačiuose mėginiuose, ypač esančiuose Marinelli geometrijos matavimo kiuvetėse. Kadangi gama spektrometrų kalibravimui naudojamos paliudytosios pamatinės medžiagos, kurių tankiai yra $(0,98 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$ ir $(1,30 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$ (ekvivalentiškos vandeniui ir dirvožemiui), matavimai su Marinelli geometrijos kiuvetėse gali būti atliekami, kai mėginių tankiai yra nuo 0,6 iki 2 g/cm^3 . Jeigu mėginių tankiai yra didesni arba mažesni už nurodytus, matavimai turi būti atliekami cilindrinėse kiuvetėse arba naudojamas matematinis kalibravimas.

Matematinis kalibravimas gali būti naudojamas ir nestandartinės formos mėginiams, kurių dėl vieno ar kitų priežasčių neįmanoma susmulkinti. Tokiu atveju pagal nustatytą procedūrą yra įvedami tam tikri mėginio parametrai, pagal kuriuos apskaičiuojamas spektrometro efektyvumas.

Sudėtingų formų mėginiams naudoti matematinio kalibravimo neįmanoma, todėl visi tokie mėginiai turi būti susmulkinami. Jeigu jų susmulkinti neįmanoma, galima išanalizuoti tik mėginių radionuklidinę sudėtį. Nustatyti radionuklidų aktyvumų tokiuose mėginiuose neįmanoma.

Visais kitais atvejais nustatomi savitieji radionuklidų aktyvumai mėginiuose. Tais atvejais, kai reikia nustatyti bendrąjį aktyvumą laikoma, kad mėginio masė lygi 1 kg.

Gama spektrometrijos metodo principai

Gama spektrometrija yra medžiagos neardančios analizės metodas, skirtas identifikuoti gama radionuklidus ir išmatuoti jų savituosius aktyvumus.

Gama kvantams (fotonams) sąveikaujant su medžiaga, atsiranda antriniai elektronai. Yra trys gama fotonų sąveikos su medžiaga būdai – Komptono sklaida, fotoelektrinė sugertis ir porų susidarymas.

Komptono sklaidos metu gama fotonas dalį savo energijos atiduoda medžiagos, kuria jis juda, elektronui. Šios sąveikos metu gama fotonas, išlaisvindamas elektroną iš atomo, praranda dalį energijos ir pakeičia savo judėjimo kryptį.

Kai gama fotono energija didesnė už 1,02 MeV, gama fotonas sąveikaudamas su medžiaga sukuria elektrono ir pozitrono porą. Atsiradusios elektringosios dalelės sąveikauja su medžiaga. Pozitrono anihiliacija yra ypač svarbus procesas gama spektrometrijoje, nes jos metu atsiranda

fotonas, kurio energija 511 keV. Fotoelektrinės absorbcijos metu gama fotonas visą savo energiją perduoda medžiagos elektronui. Šio tipo sąveika naudojama gama spektrometrijoje.

Kiekvienos iš šių sąveikų tikimybė priklauso nuo gama spinduliuotės energijos ir medžiagos atominio skaičiaus. Idealiame detektoriuje turėtų vykti tik fotoelektrinė sugertis.

Gama spektrometrijoje naudojama dvi svarbios gama spinduliuotės savybės – tai, kad jos energija yra charakteringa ją spinduliuojančiam radionuklidui ir tai, kad ši spinduliuotė yra mononergetinė. Tuo naudojasi identifikuoti, koks radionuklidas išspinduliavo užregistruotą energiją. Kvantinė išeiga (tam tikros energijos fotono išspinduliavimo tikimybė) taip pat yra charakteringa gama radionuklidui. Ji naudojama nustatant skylančių branduolių skaičiui, t.y., įvertinti radionuklidų aktyvumui.

Gama spektrometrų detektoriams naudojamos įvairios medžiagos. Tačiau natrio jodidas, aktyvuotas taliu NaI(Tl) ir grynas germanis Ge dėl jų savybių yra naudojami plačiausiai. Gama fotonams nuo keliolikos keV registruoti paprastai naudojami šie du detektorių tipai.

NaI(Tl) yra naudojamas dėl jo santykinai didelio atominio skaičiaus ($Z=53$) kuris padidina fotoelektrinės sugerties tikimybę. Be to, NaI(Tl) kristalus galima pagaminti gana didelių matmenų, o tai padidina detektorių jautrumą didelių energijų fotonams. Tačiau šio tipo detektorių skiriamoji geba yra nedidelė. Dėl šios priežasties NaI(Tl) negali būti naudojamas gama spektrometriškai tirti statybinėms medžiagoms, nes jose esantys gamtiniai radionuklidai spinduliuoja daug energijų.

Gerų Ge sistemų skiriamoji geba yra daug didesnė palyginus su NaI(Tl). Todėl Ge spektrometrinės sistemos yra naudojamos sudėtingiems spektrams analizuoti. Ge detektoriai gali dirbti tik skysto azoto temperatūroje. Jų efektyvumas, palyginus su NaI(Tl) detektorių efektyvumu, yra mažas, tačiau dabar naudojant naujas technologijas gaminami gana dideli Ge kristalai ir jų efektyvumas yra didesnis [46].

Spektrometrų charakteristikos yra svarbios juos naudojant. **Fonas** – spektras su pikais, kuriuos lemia ne mėginyje esantys, bet detektoriaus aplinkoje ir pačiame detektoriuje esantys radionuklidai, kosminės spinduliuotės sąveikos su detektoriaus aplinkoje esančiomis medžiagomis spinduliuotė. **Registravimo efektyvumas** – santykis tarp per laiko vienetą užregistruotų fotonų ir fotonų kuriuos išspinduliuoja šaltinis per laiko vienetą, skaičiaus (šiam kokybės vadove registravimo efektyvumas yra apibrėžiamas kaip santykis tarp pilnos energijos smailės grynojo ploto (ploto be smailės pjedestalo (kontinuumo)) ir radionuklidų pamatinėje medžiagoje aktyvumo, t.y., atsižvelgiama ir į kvantinę išeigą). **Energijos skiriamoji geba** (pilnas smailės plotis ties puse

maksimumo, angliškas sutrumpinimas FWHM) – smailės plotis ties puse didžiausio smailės aukščio. Smailės apačia yra ties jo kontinuumu. **Smailės – Komptono santykis** 1332 keV energijos ^{60}Co pikui – santykis tarp šio ^{60}Co smailės aukščio ir plato tarp 1040 ir 1096 keV vidutinio aukščio. **Santykinis pilnos energijos smailės efektyvumas** detektoriaus charakterizavimui – santykis tarp pilnos energijos taškinio šaltinio ^{60}Co 1332 keV smailės registravimo efektyvumo ir to paties smailės registravimo NaI(Tl) kristalu, kurio aukštis 7,6 cm ir skersmuo 7,6 cm, efektyvumo, kai atstumas tarp šaltinio ir detektoriaus yra 25 cm.

Pagrindiniai veiksmai, atliekami gama spektrometrijoje. Tai energetinis kalibravimas - nustatant santykį tarp užregistruotos gama fotonų energijos ir kanalo, kuriame ši energija užregistruota. tai daroma naudojant žinomų energijų gama fotonus spinduliuojančius radionuklidus. Taip pat efektyvumo kalibravimas nustatant gama spektrometrinės sistemos jautrumą. Gama spektrometrinės sistemos jautrumas yra nustatomas naudojant šaltinius, kuriuose esančių radionuklidų aktyvumai žinomi. Mėginio gama spektrometrinis tyrimas - spektro rinkimas atliekamas gama spektrometru G3. Po to seka spektro analizė, kurios metu yra identifikuojami radionuklidai, esantys mėginyje, ir apskaičiuojami jų aktyvumai. Radionuklidų savitieji aktyvumai skaičiuojamas pagal formulę:

$$C = \frac{S}{\epsilon t m \gamma}; \quad (2.2)$$

čia: S – smailės plotas. Šis plotas nustatomas vienokiu ar kitokiu būdu sudedant užregistruotų impulsų skaičius tam tikrame regione ir atimant po piku esančio kontinuumo plotą. Jeigu tokie pat pikai yra ir fono spektre, gali būti atimami šių foninių smailių plotai,

ϵ - sistemos efektyvumas,

t – matavimo laikas (spektro rinkimo laikas),

m – mėginio masė,

γ - naginėjamąjį piką nulėmusių gama fotonų kvantinė išeiga.

Tai pagrindinė formulė naudojama skaičiavimuose. Joje gali būti korekciniai koeficientai, iš kurių vienas svarbiausių yra tikrųjų sutapčių korekcijos (angl. correction for true coincidence summing) koeficientas.

Šis korekcijos koeficientas svarbus, kai du atskiri gama fotonai, išspinduliuojami per labai trumpą laiko tarpą vienas po kito, spektrometrinės sistemos užregistruojami kaip vienas gama fotonas. Todėl kai kurių radionuklidų gama fotonų registravimo efektyvumas sumažėja. Šio reiškinio įtaka turi būti įvertinta kalibruojant spektrometrinę sistemą. Turi būti įvestas atitinkamas korekcijos koeficientas.

Registravimo efektyvumas taip pat priklauso nuo kvantų sugėrimo mėginyje. Atitinkamo efektyvumo kalibravimo korekcijos koeficiento įvedimui, kalibravimui naudojami radionuklidai būna įvairaus tankio matricose, pavyzdžiui, matricose, ekvivalentiškose vandeniui ar dirvožemiui.

Vienas iš svarbiausių reikalavimų gama spektrometrijoje yra spektrometrinių sistemų efektyvumo kalibravimas naudojant tokią pat geometriją, kokia naudojama mėginių gama spektrometrinių tyrimų metu (atkartojamą geometriją). Tačiau kartais turi būti analizuojami ir ne atkartojamų geometrijų mėginiai. Tokiais atvejais naudojamas matematinis kalibravimas, atliekant Monte-Carlo skaičiavimus.

Bet kurios gama spektrometrinės sistemos darbas bėgant laikui dėl įvairių priežasčių gali blogėti. Kad kontroliuoti šį procesą ir laiku imtis priemonių, atliekami gama spektrometrinės sistemos kokybės kontrolės matavimai. Šių matavimų metu tikrinama, ar tam tikro gama radionuklidų kiekio (kokybės kontrolei naudojamo šaltinio registravimo efektyvumas) nepakito. Nustačius, kad šis pokytis viršija tam tikras iš anksto nustatytas reikšmes, turi būti imamasi korekcinių priemonių. Gama spektrometrija yra gana paprastas tyrimų metodas, nereikalaujantis sudėtingų mėginio paruošimo procedūrų. Kita vertus, tai yra jautrus, aiškus ir nesunkiai kontroliuojamas metodas [47].

Mėginių paruošimas gama spektrometriniams tyrimams

Eksperimentui atlikti buvo naudojama įranga, kurios aprašymas pateikiamas 2.3.lentelėje.

2.3 lentelė. Naudojamos įrangos detalizacija

Naudojami prietaisai	Charakteristikos
Smulkintuvas RS 100	• Smulkinamųjų dalelių dydis, iki 15 mm
Matavimo kiuvetės Marinelli, 500 ml	• tūris - 500 ml, • medžiaga - didelio tankio polietilenas, • aukštis - 80 mm, • įdubimo aukštis -60 mm, • diametras - 120, • įdubimo diametras - 85 mm
Svarstyklės	Svarstyklės elektroninės, modelis AEP 4500A, serijos numeris AE 171111442 • (0,01 g ÷ 4,5 kg) • tikslumo klasė 2
Gama spektrometrinė sistema su didelio švarumo germanio koaksialiniu detektoriumi GE3 Gamintojas OXFORD Tenelec. Inc	Detektorius (modelis CPVDS30-25195-M S/M 2498) • kristalas skersmuo 55.5 mm, ilgis 55.3 mm • santykinis efektyvumas 25% • įtampa +2800 V • FWHM 1.95 keV at 1332 keV Švino apsauga (medžiagos ir storai Pb=100 mm, Cd=1 mm, Cu=1 mm), Kompiuteris (Microsoft Windows 95, 4.00.950, Pentium(r) 96.0MB RAM). Spektrų analizės programa (PCA3, GammaTrac versija 2.42). Nepertraukiamo energijos tiekimo įrenginys (APC 1000VA)

Mėginių paruošimas yra gana paprastas. Išimtį sudaro tie mėginiai, kuriuos prieš tyrimą reikia deginti siekiant sukonsoliduoti radionuklidus ir padidinti tyrimų jautrumą. Asfalto mėginiai prieš tyrimą susmulkinti. Mėginyje esančių gama radionuklidų savitųjų aktyvumų matavimui mėginys sudėtas į matavimo kiuvetę, kurios tipui gama spektrometras yra sukalibruotas.

Geometrijos parinkimas priklauso nuo mėginio kiekio ir tikėtino radionuklidų aktyvumo. Tyrimui naudojant Marinelli kiuvetę jautris yra didžiausias, ji tinka naudoti, kai mėginio yra pakankamai daug ir jo aktyvumas nėra labai didelis. Pasirinktos 500 ml Marinelli kiuvetės. Jos pilnai užpildytos susmulkintu asfaltu.

Kiuvetės naudojamos prieš tai jas deaktyvavus. Tam vata, suvilgyta etilo alkoholiu, išvaloma kiuvetės vidus ir išorė. Taip siekiama, kad vienas mėginys neužterštų kito ir nebūtų užterštas spektrometro detektorius.

Visi įrankiai ir priemonės, naudotos ruošiant mėginį, nuplaunamos tekančiu vandeniu. Jeigu mėginyje esančio bent vieno radionuklido aktyvumas viršija nereguliuojamą lygį, šie įrankiai ir

priemonės turi būti deaktyvuotos etilo alkoholiu. Kiuvetės dangtelis gerai uždaromas pernešant mėginį.

Kiuvetės išplaunamos ir deaktyvuojamos iš karto po to, kai mėginys išimamas iš jos. Įrankiai ir paviršiai nuplaunami ir deaktyvuojami iš karto po mėginio paruošimo. Naudoti įrankiai, ištuštintos kiuvetės ir paviršiai negali būti palikti nedeaktyvuoti, nes radionuklidai gali įsigerti į medžiagą.

Mėginys sveriamas tokiu būdu:

- tuščia kiuvetė be dangtelio padedama ant svarstyklių,
- nustatoma tuščios kiuvetės masė,
- svarstyklės nunulinamos (Tare funkcija),
- kiuvetė nuimama nuo svarstyklių,
- mėginys sudedamas į kiuvetę,
- kiuvetė su mėginiu uždedama ant svarstyklių ir nustatoma mėginio masė (ji lygi kiuvetės su mėginiu ir tuščios kiuvetės masių skirtumui).

Paruošus mėginį ant kiuvetės dangtelio uždedama lipni etiketė, kurioje nurodomas mėginio identifikavimo kodas ir jo masė su absoliutine paklaida.

Mėginys talpinamas į gama spektrometrą GE - 3. Atliekant eksperimentą, asfalto tyrimui naudojamas puslaidininkinis gama spektrometras, pagamintas Oxford Instruments Inc. Jo detektorius yra didelio švarumo Ge detektorius – koaksialinis cilindras, 55,3 mm aukščio, 55,5 mm skersmens. Santykinis efektyvumas 1,33 MeV energijai - 26,4 % pilnos sugerties smailės ir Komptono smailės santykis - 55,2, skiriamoji geba 122 keV energijai – 880 eV. Detektorius yra cilindro formos švino apsaugoje, kurios sienelių storis 15 cm, vidus padengtas vario ir kadmio lakštais. Spektro analizei naudojama kompiuterinė programa Gamma Track Version 2.42. Spektrometras sukalibruotas 81 keV – 1836 keV energijų intervale su laboratorijoje paruoštais šaltiniais iš Amersham standartinio sertifikuoto tirpalo, kuriame yra 8 gama spinduliai. Kalibravimui naudota 10 pikų. Sukalibruota dviems matavimo kiuvetėms (0,5 l Marinelli, 50 ml cilindrinėms kiuvetėms) ir esant trimis tankių geometrijoms.

Matavimo tikslumas užtikrinamas nuolat atliekant kokybės kontrolės matavimus, fono matavimus, dalyvaujant sulyginamuosiuose matavimuose ir atliekant igūdžių testus

Fono nustatymas ir atėmimas iš mėginio spektro

Fono spektras yra spektras, gautas be mėginio. Jį lemia radionuklidai, esantys matavimo patalpoje (statybinėse medžiagose ir ore), gama spektrometro dalyse (ypač detektoriuje, jo kapsulėje, apsaugoje ir kiuvetėje) bei kosminei spinduliuotei sąveikaujant su detektoriumi ir šalia esančiomis medžiagomis atsirandant spinduliuotė. Nors švino apsauga foną sumažina, ji gali turėti reikšmės gama spektrometriniuose tyrimuose, ypač kai matuojami maži aktyvumai ir aktyvumai radionuklidų, esančių detektoriaus aplinkoje - tokių kaip ^{40}K ir ^{232}Th bei ^{238}U skilimo produktų, kosmogeninių radionuklidų aktyvumai.

Fono problema yra sprendžiama iš analizuojamo spektro atimant foninį spektrą. Todėl foninis spektras turi būti iš anksto užregistruotas ir išsaugotas, kad vėliau būtų galima jį naudoti.

Fono matavimo dažnis yra 12 mėnesių. Fono spektro failas išsaugomas lengvai atpažįstamu pavadinimu. Norint, kad GE-3 spektrometre fono spektras būtų atimamas iš užregistruoto mėginio spektro, reikia naudoti *Analyze – Set configuration – Edit analysis parameters – Library search parameters – Background peak subtraction* ir įvesti “Yes”. Kartu prie *Background peak file name* reikia nurodyti fono failą, kuris bus atimamas.

Visose spektrometruose nustačius, kad reikia atimti fono failą, šis failas iš visų spektrų atimamas automatiškai spektrų analizės metu.

Spektrų registravimas ir analizė spektrometru GE-3

Spektrometru GE-3 spektrų analizė atliekama baigus registruoti spektrą ir spektrą išsaugojus. Tai daroma komanda *File – Save as*.

Po atliekama spektro analizė, tam nuspaudžiama *Analysis*. Pasirodžius analizės parametrų langui, įvedami mėginio parametrai – jo identifikavimo kodas (*id*), masė (*sample quantity*) ir rezultatų išvedimo būdas – į kompiuterio monitorių (*ega*). Energetinio gradavimo failo pavadinimas (*calibration filename*) ir efektyvumo kalibravimo failo pavadinimas (*efficiency filename*) įvedami tik tada, kai jie skiriasi nuo failų, naudotų analizuojant prieš tai buvusio mėginio spektrą, pavadinimų.

Svarbiausias parametras yra jautris – *sensitivity*. Kuo šio parametro reikšmė mažesnė, tuo mažesnės smailės aptinkamos. Mažo aktyvumo mėginių spektrų analizės metu rekomenduojama naudoti reikšmę, lygią 3, didelio aktyvumo – tokias reikšmes, kad nebūtų ignoruojami tikri pikai ir kartu nebūtų aptinkami dėl statistinių procesų atsiradę pikai.

Svarbiausi parametrai yra fono atėmimas (*background peak subtraction*), fono spektro failo pavadinimas (*background file name*) ir bibliotekos failo, kuris naudojamas identifikuojant

radionuklidus ir kuriame esančių radionuklidų sąrašas turi būti kuo artimesnis numatomi mėginio radionuklidinei sudėčiai, pavadinimas (**active library name**).

Po to, kai visi parametrai parinkti teisingai, išeinama iš analizės lango (*Esc*) ir įvedama “Y”. Atliekama analizė ir pasirodo rezultatų protokolas. Jeigu šis protokolas yra patenkinamas, analizė kartojama, prieš tai prie **Report device** nustačius *lpt1*. Matavimų rezultatai išvedami spausdintuvu.

Protokolą būtina patikrinti ar jame nėra didelio ploto neidentifikuotų pikų. Jeigu tokių pikų yra, būtina keisti pikų identifikavimui naudojamą biblioteką, įvedant radionuklidus, kurie gali būti mėginyje. Taip gali įvykti analizuojant nežinomus mėginius, nors niekada negalima atmesti galimybės, kad ir įprastuose mėginiuose bus “neįprastų” radionuklidų.

Kokybės kontrolė

Kokybės kontrolė yra efektyviausias būdas tikrinti gama spektrometrų darbo stabilumą. Tikrinami svarbiausi parametrai, kurie lemia matavimų kokybę - energijos ir efektyvumo kalibravimas, skiriamoji geba, fonas. Kokybės kontrolės matavimų tikslas yra nustatyti ar šie parametrai yra apibrėžtuose intervaluose. Remiantis kokybės kontrolės matavimais, galima daryti vieną iš šių trijų išvadų:

- sistema veikia gerai,
- sistema veikia nustatytų intervalų ribose, tačiau jau yra įspėjimas,
- sistema veikia nepatenkinamai ir reikia imtis pataisomųjų veiksmų.

Kontroliuojami parametrai (susiję su aktyvumo matavimais) yra tikrinami matuojant mažus gama spinduliuotės šaltinius [48].

Kokybės kontrolės matavimams naudojami šie šaltiniai: Co-60 taškinis šaltinis ID Nr. K3A.2888.91, Cs-137 taškinis šaltinis ID Nr. 13947.

2.5. Statybinių medžiagų užterštumo radionuklidais vertinimas

Aktyvumo rodiklio skaičiavimas

Aktyvumo rodiklis – tai bedimensinis dydis, naudojamas vertinant statybinių medžiagų ir statybos produktų užterštumą ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ir ^{137}Cs ir nustatomas sudedant šių radionuklidų savitųjų aktyvumų ir HN 85:2003 normoje nustatytų koeficientų santykius;

1. Be apribojimų ir bet kokiais kiekiais galima naudoti statybines medžiagas ir statybos produktus, jeigu aktyvumo rodiklis:

$$I = \frac{a_{Ra}}{300} + \frac{a_{Th}}{200} + \frac{a_K}{3000} \text{ neviršija } 1. \quad (2.3)$$

Pastatuose galima naudoti nedidelius statybinių medžiagų ar statybos produktų kiekius (ne daugiau kaip 10% bendro panaudoto statybinių medžiagų ir statybos produktų kiekio), jeigu jų aktyvumo rodiklis neviršija 2 (apdailos plytelės ir plokštės, išorės apdaila, laiptų konstrukcijos ir pan.).

PASTABA. Čia a_{Ra} , a_{Th} , a_K - ^{226}Ra , ^{232}Th ir ^{40}K savitieji aktyvumai bekereliais kilogramui.

2. Gatvių, kelių ir aikštelių statybai gali būti naudojamos statybinės medžiagos ir statybos produktai, kurių aktyvumo rodiklis:

$$I = \frac{a_{Ra}}{700} + \frac{a_{Th}}{500} + \frac{a_K}{8000} + \frac{a_{Cs}}{2000} \text{ neviršija } 1. \quad (2.4)$$

PASTABA. Čia a_{Ra} , a_{Th} , a_K , a_{Cs} - ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ir ^{137}Cs savitieji aktyvumai, bekereliais kilogramui.

3. Landšaftui formuoti (duobėms užpilti, vietovei išlyginti ir pan.) gali būti naudojamos statybinės medžiagos ir statybos produktai, kurių aktyvumo rodiklis:

$$I = \frac{a_{Ra}}{2000} + \frac{a_{Th}}{1500} + \frac{a_K}{20000} + \frac{a_{Cs}}{5000} \text{ neviršija } 1. \quad (2.5)$$

Statybinės medžiagos ir statybos produktai, atitinkantys 1 punkto reikalavimus, yra pirmos klasės, atitinkantys 2 punkto reikalavimus - antros klasės, atitinkantys 3 punkto reikalavimus - trečios klasės.

Tais atvejais, kad statybinės medžiagos ar statybos produktai neatitinka 1-3 p. reikalavimų, būtina įvertinti, kokias efektines dozes sąlygos šios statybinės medžiagos ar statybos produktai juos panaudojus. Šios dozės neturi viršyti 0,6 mSv per metus [30].

Efektinio aktyvumo lygio skaičiavimas

Yra nustatyti didžiausi leistini gamtinių radionuklidų, randamų statybinėse medžiagose ir kelių dangose, efektiniai aktyvumo lygiai. Statybinėse medžiagose, naudojamose **ne gyvenviečių kelių dangoms**, didžiausias leistinas efektinis aktyvumo lygis $A_{\text{eff}} < 1350 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Statybinėse medžiagose, naudojamose **statomiesiems namams**, didžiausias leistinas efektinis aktyvumo lygis

$$A_{\text{eff}} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K < 370 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}; \quad (2.6)$$

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

2. Statybinėse medžiagose, naudojamose **gyvenviečių kelių dangoms**, didžiausias leistinas efektinis aktyvumo lygis $A_{\text{eff}} < 740 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.
3. Statybinėse medžiagose, naudojamose **ne gyvenviečių kelių dangoms**, didžiausias leistinas efektinis aktyvumo lygis $A_{\text{eff}} < 1350 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [29].

2.6. Matavimo rezultatų statistinė analizė

Tam, kad įvertinant rezultatų tikslumą ir patikimumą, atliekama statistinė analizė. Matavimo rezultatų statistinė analizė atliekama pagal žemiau pateiktas formules [50]. Prietaisu SRP – 88 N matuojama lygiavertės dozės galia pažemio ore. Rezultatui toje pat vietoje matuojama bent tris kartus iš eilės. Matavimai atliekami magistralei statmenuose ruožuose, tam tikrais atstumais nuo magistralės. Pirmiausia skaičiuojama vidutinė lygiavertės dozės galios vertė (matavimų verčių sumą dalijant iš matavimų skaičiaus) [50]:

$$\bar{H}_{\text{vid.}} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{H}_k}{n}, \quad (2.7)$$

čia: n – matavimų skaičius, $\dot{H}_k$ – k – tojo matavimo vertė.

Bandymų serijos $\dot{H}$ vidutinės vertės vidutinis kvadratinis nuokrypis, dar vadinamas dispersija parodo duomenų išsibarstymą. Vidutinis kvadratinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formulę [50]:

$$\sigma_{\bar{H}_{\text{vid.}}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \left(\dot{H}_{\text{vid.}} - \dot{H}_k \right)^2}{n(n-1)}}, \quad (2.8)$$

Santykinė paklaida apskaičiuojama pagal formulę [50]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\bar{H}_{\text{vid.}}}}{\bar{H}_{\text{vid.}}} \cdot 100, \quad (2.9)$$

Absoliutinė paklaida apskaičiuojama pagal formulę [50]:

$$\Delta \dot{H} = \pm \frac{\sigma_{\bar{H}_{\text{vid.}}}}{n} \cdot \dot{H}, \quad (2.10)$$

Tikslumo rodiklis gaunamas absoliutinę paklaidą padalijus iš vidutinės vertės ir padauginus iš šimto [50].

$$p = \pm \frac{\Delta H}{H_{vid.}} \cdot 100, \quad (2.11)$$

Jei rodiklis viršija penkis procentus, reikia atlikti papildomus bandymus, kurių skaičius nustatomas pagal formulę [50].

$$n_p = \frac{v^2 \cdot C^2}{p_1^2 \cdot 100}, \quad (2.12)$$

čia: C – patikimumo rodiklis, jei bandymų patikimumas yra 0,95, tai C = 1,96;

p₁ – planuojamas bandymo tikslumo rodiklis (dažniausiai p₁ = 5%);

v- variacijos koeficientas;

Variacijos koeficientas, apskaičiuojamas pagal formulę [50]:

$$v = \frac{100\sigma}{H_{vid.}}, \quad (2.9)$$

Galutinę vidutinės lygiavertės dozės galią apskaičiuojama pagal formulę [50]:

$$H_{vid.} = \frac{\sum_{i=1}^j H_i}{j}, \quad (2.10)$$

čia: j – bendras bandymų skaičius:

Bendras bandymų skaičius gaunamas, kaip atliktų ir papildomų bandymų suma [50]:

$$j = n + n_p. \quad (2.11)$$

2.7. Pakelės zonos taršos radioaktyviosiomis medžiagomis modeliavimas

2.7.1. Modeliavimo principai

Modeliuojama LDG pažemio ore sąlygota dirvožemyje esančių radionuklidų, pagal jų savituosius aktyvumus dirvožemyje, naudojantis programa InterRAS. Šiuo metu LDG pažemio ore, sukelta kosminės spinduliuotės laikoma pastovia ir šiaurės pusrutulyje jūros lygyje sudarančia 32 nSv·h⁻¹ [4]. LDG pažemio ore formuoja spinduliuotė nuo dirvos ir kosminė spinduliuotė, todėl šie dydžiai sudedami.

Dirvožemio mėginiai paimti iš įvairių gylių kas 3 ar 5 cm. Jonizuojančiąją spinduliuotę skverbiantis per gruntą, jos intensyvumas silpnėja. Modeliuojant LDG pažemio ore programoje InterRAS laikoma, kad visi radionuklidai yra dirvos sluoksnio paviršiuje. Todėl modeliuojant LDG pažemio ore vertės iš gilesnių nei 5 cm sluoksnių, reikia atsižvelgti į tai, kad dirva silpnina jonizuojančiąją spinduliuotę. Dirva skirtingai sugeria radionuklidų jonizuojančiąją spinduliuotę. Jonizuojančiosios spinduliuotės silpninimo koeficientas priklauso nuo dirvožemio tipo, sluoksnio storio ir nuo radionuklido energijos.

Modeliuojama radionuklidų, esančių kelio tiesimo dangoje formuojamos LDG pažemio ore, įtaka pakelės zonai. Dozės galia atvirkščiai proporcinga atstumo iki šaltinio kvadratui. Tai reiškia, kad dozės galia mažėja, didėjant atstumui. LDG pažemio ore 7,5m atstume nuo kelio dangos, sąlygota asfalte esančių radionuklidų, pagal jų savituosius aktyvumus, modeliuojama naudojantis programa VISIPLAN.

Ekspedicijų metu atlikti pakelės zonos LDG pažemio ore matavimai šalia Lietuvos magistralių. Tose magistralių vietose, kur LDG pažemio ore buvo didesnė, paimti dirvožemio mėginiai radiologiniams tyrimams. Modeliuojamos LDG pažemio ore vertės lyginamos su išmatuotomis vertėmis.

2.7.2. Modeliavimo programos InterRAS aprašymas

Kompiuterinis aplinkos procesų modeliavimas sudaro galimybę atpiginti aplinkos procesų tyrimą. Didelio kiekio mėginių paėmimas ir analizė brangi, o pritaikius kompiuterinius modelius galima gauti patikimus rezultatus, naudojant ne didelius bandinių kiekius. Kompiuterinis procesų modeliavimas ypač naudingas, kai reikia įvertinti tolimesnę taršos sklaidą.

Modeliavimui naudojama kompiuterinė programa, kuri vadinasi *International Radiological Assessment System*, sutrumpintai InterRAS (tarptautinė radiologinio vertinimo sistema), sukurta 1998 metais Tarptautinės Branduolinės Energetikos Agentūros (IAEA). Versija 1.1.

Avarių radiologinio pavojaus vertinimas tobulėja. 1998 metais atsirado programa InterRAS, kuri padeda įvertinti avarijos pasekmes. Šis vertinimo įrankis tapo naudojamas daugelyje šalių [51].

Ši programa sukurta atominės elektrinės avarijos pasekmėms vertinti, tačiau šiame darbe ji naudojama LDG pažemio ore modeliavimui, naudojantis programos modeliu pagal lauko matavimo duomenis (FM-DOSE).

Kompiuterių mokslas - tai tiltas tarp branduolinių žinių ir praktikos. InterRAS modeliavimo programa apima įvairius modelius: (ST-DOSE) modelis įvertina nuotolį, kuriame reikia imtis skubių apsaugojamųjų veiksmų, remiantis atominio reaktoriaus stoviu ar sąlygojamomis dozėmis, (FM-DOSE) modelis įvertina anktyvasias ir vėlyvasias dozes pagal lauko matavimais nustatytas radionuklidų savituosius aktyvumus dirvožemyje, ir (DECAY) modelis, skirtas apskaičiuoti radionuklidų skilimą. InterRAS programa buvo sukurta naudoti darbuotojams, atsakingiems už apsaugojamuosius veiksmus. InterRAS versija 1.1 remiasi U.S. NRC's , versija 2.1 kodas (NRC94) buvo pakeista leidžiant nagrinėti įvairesnius avarių atvejus ir atitinkanti IAEA Pagrindinius Saugos Standartus (IAEA96) [52].

Slovėnijoje šiuo metu dozių skaičiavimui naudojama programa InterRAS paremta Gauso dispersijos modeliu. Yra kompiuterizuota palaikymo sistema, sukurta numatyti avarijos eigą ir įvertinti laukiamas efektines dozes aplink atominį reaktorių [53].

Vengrijos branduolinės energetikos ekspertai naudojami įvairiomis analizavimo programomis, taip pat ir InterRAS (pradžioje vadinta RASCAL). Programos privalumai yra paprastumas ir greitas rezultatų gavimas. InterRAS naudojama ankstyvosios fazės dozių vertinimui po avarijos. Ši programa tinka įvertinti radiologinius padarinius aplinkai [54].

Programos funkcijos [55]:

- Radionuklidų skilimo įvertinimas per įvairius laiko tarpus.
- Matavimų nuotolio nustatymas po avarijos.
- Situacijos prognozė ore ir žemės paviršiuje.

Programos funkcijų aprašymas

*FM-DOSE

Tai yra programos InterRAS modelis FM-DOSE. Programa leidžia įvesti izotopų savituosius aktyvumus atmosferos ore, dirvožemyje arba ir ore ir dirvožemyje. Rezultatas yra įvestų izotopų sąlygojamos dozės. Rezultatų išvedimas gali būti dvejopas – matomas ekrane arba spausdinamas. Dozių skaičiavimas ir dozių koeficientai naudojami tokie pat, kaip ir ST-DOSE modelio atveju, tik šiuo atveju, skaičiuojant radionuklidų sukeltas ilgalaikes dozes, įvertinama skilimo produktų įtaka. Dozių koeficientai įkvėpimo rodikliai skirti suaugusiam žmogui. Dozės, skaičiuojamos mažiau nei 1000 valandų, priskiriamos ankstyvosios fazės dozėms. Dozės, skaičiuojamos mėnesiui ar daugiau, priskiriamos vėlyvosios fazės dozėms. Vėlyvosios fazės dozės gali būti skaičiuojamos pirmam mėnesiui, antram mėnesiui, penkiasdešimčiai metų.

*AIR

Tai yra ore išmatuotų duomenų įvedimo ekranas. Šiame ekrane įvedamas apšvitos laikas ir visų radionuklidų koncentracijos ore.

*AIR_AREA

Pasirenkami tūrio vienetai. Apytikslės priklausomybės tarp vienetų pateiktos žemiau:

$$1 \text{ m}^3 = 1.0\text{E}6 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ litrai} = 35.3 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1.0\text{E}-6 \text{ m}^3 = 0.001 \text{ litro} = 3.53\text{E}-5 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ litras} = 0.001 \text{ m}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 0.0353 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0.028 \text{ m}^3 = 28317 \text{ cm}^3 = 28.3 \text{ litrai}$$

*AIR_CONC, *GND_CONC,

Duomenis galima įvesti įvairiai. Galima nurodyti eksponentinę išraišką. Įvedami sveiki skaičiai. Ekraną paslinkimui naudojami **PageDown**, **PageUp** mygtukai.

*AIR_EXP_TIME, *GND_EXP_TIME

Tai yra laiko tarpas, kurį individas kvėpuoja radioaktyviosiomis medžiagomis užterštu oru. Koncentracijos yra laikomos pastoviomis per visą apšvitos laiką. maksimali skaičiuojamoji vertė 999 valandos. Tai turėtų atitikti maksimalią apšvitą bet kuriam asmeniui. Laikas gali būti apytikris dėl pastovios vėjo krypties.

*CASE

Šis langas leidžia atlikti įvairius veiksmus su bylomis, anksčiau įrašytomis FM-DOSE *modelyje*. Naudojantis FM-DOSE pirmą kartą, rekomenduojama pasirinkti VIEW ASSUMPTION, kur aprašytas šis modelis, arba CREATE NEW CASE, naujos bylos sukūrimui.

*COMPUTE

Šis mygtukas pradeda dozės skaičiavimus, pagal įvestus duomenis. View mygtukas parodo rezultatus.

*CREATE_CASE

Šis mygtukas naudojamas naujos bylos sukūrimui. Jis perkelia į pagrindinį FM-DOSE duomenų įvedimo langą.

*DISP_DATA

Paspaudus šį mygtuką, ekrane pateikiami duomenis, kurie buvo naudojami dozei skaičiuoti. Kartą jau išvesti į ekraną duomenys gali būti atspausdinti.

*DISP_INTER

Parodo vėlyvąją fazę – pirmojo, antrojo mėnesių ir 50 metų dozės.

*DISP_PLUME

Parodo ankstyvosios fazės dozes, naudotas palyginimui įvertinti skubų įsikišimą. Šios dozės yra skaičiuojamos per tam tikrą apšvitos laiką.

*DOSE_UNIT

Leidžia pasirinkti vienetus iš pateikto sąrašo. Priimtini vienetai remai arba Sivertai (100 rem = 1 Sv). Jei sąrašas nėra pateiktas spausti F2 ar dukart ant laukelio.

*EDIT_CASE

Skirtas šiuo metu pakrautos bylos taisymui.

*EXIT

Gražina į pagrindinį FM-DOSE meniu.

*EXIT_FMDOSE

Tai FM-DOSE programos nutraukimas. Gražina į pagrindinį InterRAS meniu.

*GND_AREA

Pasirenkami ploto vienetai. Apytikslės priklausomybės tarp vienetų pateiktos žemiau:

$$1 \text{ m}^2 = 1000 \text{ cm}^2 = 10.8 \text{ ft}^2$$

$$1 \text{ cm}^2 = 0.0001 \text{ m}^2 = 0.0011 \text{ ft}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 0.093 \text{ m}^2 = 929 \text{ cm}^2$$

*GND_UNIT

Pasirenkami aktyvumo vienetai Kiuriai ar Bekereliai.

$$1 \text{ Ci} = 3.7\text{E}10 \text{ Bq}$$

*GROUND

InterRAS programoje, tai yra dirvožemio duomenų įvedimo langas. Čia įvedami radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje, apšvitos laikas, paviršiaus pataisos koeficientas (0,7 normaliomis sąlygomis).

*TIME

Įvedamas laikas, kada mėginys buvo paimtas. Šie duomenis nėra naudojami skaičiavimuose.

*TITLE

Prieš atliekant skaičiavimus įvedamas pavadinimas, kuris bus naudojamas kaip bylos pavadinimas.

*ZERO

Visi įvesti duomenys anuliuojami, galima įvesti naujus.

Programos eiga

Su šia programa modeliuojamos LDG pažemio ore atskirai kiekvienam dirvožemio ir asfalto mėginiui. Pagal radionuklidų savituosius aktyvumus, nustatytus gama spektrometro pagalba. Tyrimai atlikti radiacinės saugos centro ir Fizikos instituto laboratorijose.

Kiekvienam bandiniui turi būti sukurta atskira byla InterRAS programoje. Modeliavimo eiga:

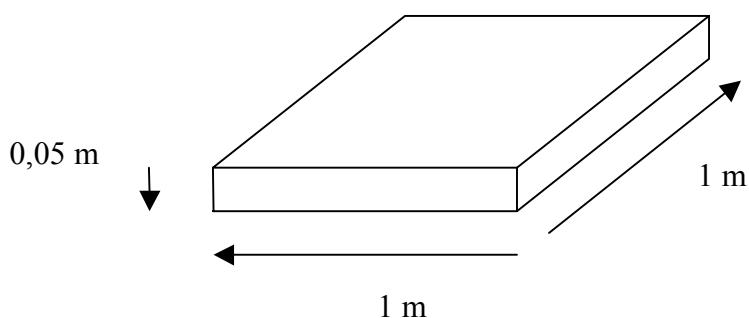
- ✓ Įeiti į programą InterRAS.
- ✓ Pasirinkti modelio tipą FM DOSE.
- ✓ Užduoti failo pavadinimą.
- ✓ Įvesti mėginių paėmimo datą.
- ✓ Pasirinkti kokius duomenis įvesti (dirvožemio ar oro).
- ✓ Įvesti turimus perskaičiuotus radionuklidų savituosius aktyvumus ploto vienetui.
- ✓ Pasirinkti paviršiaus koeficientą 0,7.
- ✓ Išėiti į pagrindinį FM DOSE langą.
- ✓ Pažymėti duomenis, kurie turi būti įtraukti į modeliavimą (dirvožemio).
- ✓ Paspausti kalkuliavimo mygtuką.
- ✓ Pasirinkti rezultatų išvedimą.
- ✓ Peržiūrėti duomenis naudotus modeliavimui.

Programa pasižymi paprastumu ir greitu rezultato pateikimu.

2.7.3. Duomenų pertvarkymas modeliavimui

Radiologiškai ištirus dirvožemio ir asfalto mėginius, nustatyti radionuklidų savitieji aktyvumai. Naudojantis matavimų rezultatais modeliuojama LDG pažemio ore sąlygota dirvožemyje ir asfalte esančių radionuklidų.

Modeliavimui naudojama programa InterRAS. Ši programa modeliuoja LDG pažemio ore pagal įvestus dirvožemyje esančių radionuklidų aktyvumus ploto vienetui. Radiometriškai ištirtų mėginių aktyvumai nustatyti bekereliais kilograme [$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$], dėl dimensijų neatitikimo reikalingas radionuklidų aktyvumo perskaičiavimas ploto vienetui, įvertinant bandinio ėmimo gylį.



2.1 pav. Dirvožemio sluoksnio modelis

Apskaičiuotas aktyvumas ploto vienetui parodo, tūryje V ($V = 0,05 \times 1,00 \times 1,00 = 0,05 \text{ m}^3$) esančių radionuklidų aktyvumą. Priimame, kad minėtame tūryje esantys radionuklidai pasiskirstę paviršiuje.

Prieduose pateiktose 6.1. – 6.6. lentelėse perskaičiavimo paaiškinimai:

4 stulpelis gaunamas 3 stulpelį padalijus iš tūkstančio ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$);

5 stulpelis gaunamas 2 stulpelį padalijus iš 4 stulpelio ($\rho = m / V$);

6 stulpelyje pateikti radionuklidų aktyvumai bandinyje, išmatuoti gama spektrometru;

7 stulpelis gaunamas 5 stulpelį padauginus iš 6 stulpelio ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} = \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$);

8 stulpelis gaunamas 7 stulpelį padauginus iš bandinio ėmimo gylio-5 cm ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m} = \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$).

$^{226}\text{Ra}^*$ savitasis pusiausvyrinis aktyvumas, apskaičiuotas pagal formulę:

$$^{226}\text{Ra}^* = \frac{^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi} + ^{226}\text{Ra}}{3}; \quad (2.12)$$

$^{232}\text{Th}^*$ savitasis aktyvumas apskaičiuotas pagal proporciją :

$$^{232}\text{Th}^* = 1,6 \cdot ^{208}\text{Tl}. \quad (2.13)$$

Jonizuojančiajai spinduliutei skverbiantis per gruntą, jos intensyvumas I_0 , silpnėja. Dalį jonizuojančiosios spinduliuotės sugeria gruntas. Ši sugertis priklauso nuo dirvožemio sluoksnio storio per kurį spinduliuotė skverbiasi, bei silpninimo koeficiento μ [8]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}; \quad (2.14)$$

čia: I - spinduliuotės intensyvumas;

I_0 - spinduliuotės intensyvumas prieš dirvožemio sluoksnį;

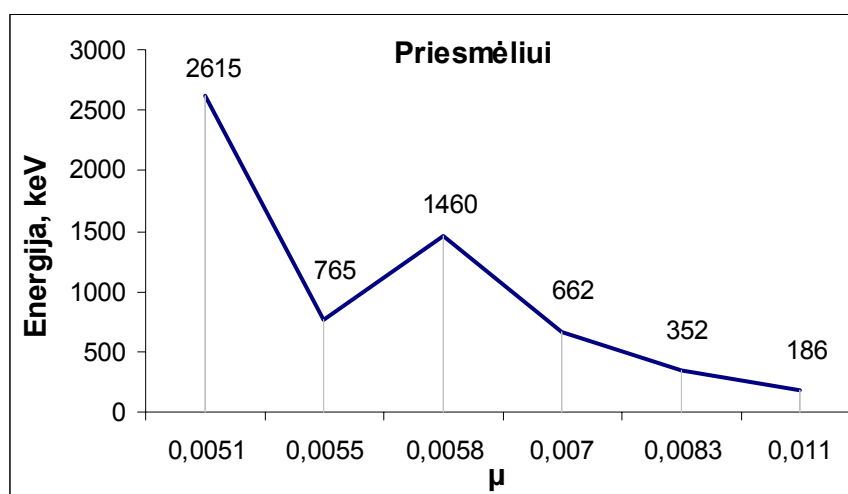
μ – spinduliuotės silpninimo koeficientas;

x – dirvožemio sluoksnio storis.

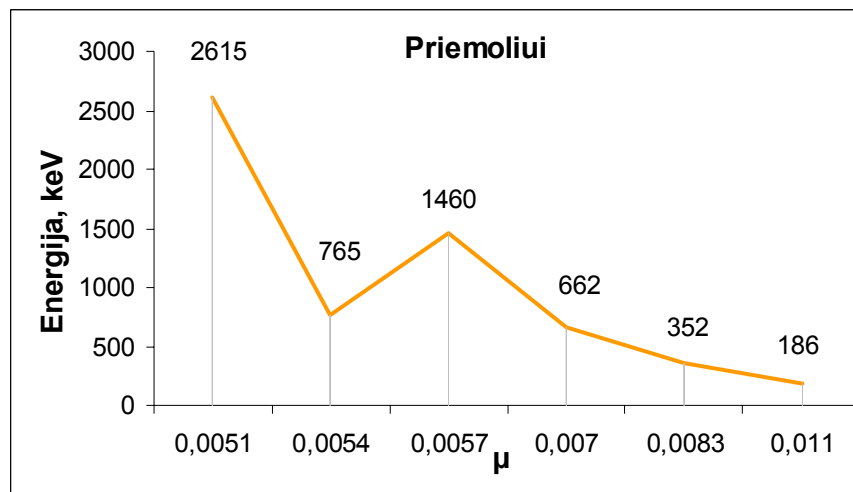
Jonizuojančiosios spinduliuotės silpninimo koeficientas μ priklauso nuo dirvožemio tipo ir nuo radionuklido energijos. 2.4 lentelėje pateikiamos reikšmės[8].

2.4 lentelė. Koeficiento μ reikšmės priesmėlio ir priemolio dirvožemiams

Dirvožemio tipas	Energija					
	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K		
	186 keV	352 keV	662 keV	1460 keV	765 keV	2615 keV
Koeficiento μ reikšmės						
Priesmėlis	0,011	0,0083	0,007	0,0058	0,0055	0,0051
Priemolis	0,011	0,0083	0,007	0,0057	0,0054	0,0051



2.2 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, priesmėliui



2.3 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, priemoliui

Iš 2.2 ir 2.3 paveikslų matyti, kad kuo didesnė radionuklido energija, tuo mažesnis silpninimo koeficientas μ tiek priesmėlyje, tiek priemolyje. Iš to seka, kad didesnės energijos radionuklidų spinduliuotė yra skvarbesnė ir mažiau sulaikoma dirvožemio.

Asfalto bandiniai yra su 11 frakcijos (Fr 11) skaldele ir su 16 frakcijos skaldele (Fr 16). Skirtingų frakcijų bandiniai yra skirtingos sudėties, taigi ir radionuklidų savitieji aktyvumai skirtingi.

2.7.4. Modeliavimo programos VISIPLAN aprašymas

Modeliuojama radionuklidų, esančių asfalto tiesimo dangoje formuojama LDG pažemio ore, 7,5m atstume nuo asfalto dangos. LDG pažemio ore modeliavimui naudojama kompiuterinė programa VISIPLAN. Viena iš programos funkcijų dozės galios trimatėje erdvėje modeliavimas nuo užduotų šaltinių.



2.4 pav. VISIPLAN yra 3D ALARA planavimo įrankis naudojamas atominėse elektrinėse daugelyje pasaulio šalių, taip pat ir Lietuvos Ignalinos atominėje elektrinėje

VISIPLAN programa sukurta patikimam dozės galios modeliavimui nuo išorinės gama spinduliuotės apšvitos. ALARA (*As low as reasonably achievable*) principų taikymas branduolinėje energetikoje yra sudėtingas. VISIPLAN 3D modeliavimo programa yra nauja programa, išvystyta radiacinės saugos optimizavimo planavimui palengvinti, kuri remiasi trijų dimensijų geometrijos, įvairios medžiagos ir radiologinių tyrimų rezultatais. Dozės galios modeliavimas remiasi taškiniu Kernelio metodu su pataisa.

Kuriant modelį pirmas žingsnis yra reikiamos informacijos surinkimas. Ši informacija apima geometrinius parametrus, radioaktyviuosius nagrinėjamos erdvės šaltinius ir kitą medžiagą.

Geometrinis modelis gali būti užduotas pagal techninius brėžinius (braižant, skanuojant t.t.). *Radiologiniai duomenys* gali būti dozės galios matavimų rezultatai arba detali informacija apie šaltinį. Kita reikalinga medžiaga yra surenkama remiantis specialistų ataskaitomis, pasiūlymais ir žiniomis.

Geometriniai parametrai šioje programoje yra saugomi **Take** struktūroje. **Take** struktūra apibrėžiama kaip aplinkos visuma, turinti geometrinius parametrus, šaltinius, nurodant medžiagas kurios juos sudaro.

Naudojant VISIPLAN galima modeliuoti aplinką, kurioje yra radioaktyviųjų šaltinių, jų sąlygojamą dozės galios pasiskirstymą erdvėje, be to - elektrinės darbuotojų trajektorijas, darbo laiką, gaunamas dozes ir kitą. Naudojant šią programą gali būti generuojami įvairūs scenarijai. Nagrinėjant ir lyginant scenarijus ir iš jų galima pasirinkti optimaliausią, taip sumažinant darbuotojų gaunamas dozes.

Dozės galia aplinkoje priklauso nuo šaltinių išsidėstymo erdvėje geometrijos, šaltinio medžiagos tankio ir tokių parametrų, kaip šaltinio aktyvumas, radionuklidų savitasis aktyvumas $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ šaltinyje. keičiant minėtus parametrus, kinta ir dozės galia. Visi minėti parametrai saugomi **Take** struktūroje.

Pagal žinomus parametrus realioje aplinkoje kuriamas modelis, kuris apibrėžiamas erdvėje trimatės koordinatų sistemos pagalba. Jis saugomas **Take** struktūroje. Skirtingų parametrų šaltiniai vaizduojami skirtingomis spalvomis. Taip pat jie gali būti įvairių formų kubo, cilindro, sferiniai. Reikia nurodyti medžiagą aliuminį, betoną, šviną, uraną, vandenį, orą ar kitas.

Nurodžius visus reikiamus parametrus, programa modeliuoja dozės galią nurodytoje vietoje.

Dozės galios matavimo vienetai šioje programoje $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Dozės galios pasiskirstymas parodomas naudojant vaizdžią spalvų skalę.

Pirmiausia reikalinga apibrėžti turimus duomenis. Tam reikia sukurti modelį, kuris atspindėtų tikrovėje esantį šaltinį ir pagrindinius dominančius jo parametrus.

VISIPLAN metodika apima keturis lygius:

- ◆ Modelio kūrimas
- ◆ Pagrindinė analizė
- ◆ Detalioji analizė
- ◆ Optimizavimo priemonių parinkimas

Šiame darbe naudojami du VISIPLAN modeliavimo programos lygiai – modelio kūrimas ir pagrindinė analizė - dozės galios pasiskirstymo erdvėje modeliavimas. Šaltinio geometrija stačiakampis, atstumas iki dozės modeliavimo taško 7,5m. Nagrinėjami keli modeliai, keičiant geometriją, bei šaltinio parametrus, pagal savituosius radionuklidų aktyvumus, nustatytus tirtuose asfalto bandiniuose.

Modelio kūrimas. Duomenų įvedimo etapas

Norint sukurti modelį pirmiausia reikia eiti į **File New Database** komandą, esančią meniu. Čia galima kurti įvairias **Take** struktūras, skaičiavimus. Norint aktyvuoti duomenų bazę, reikia eiti į **File Open Database**.



File

Open Database

Toliau reikia sukurti Take struktūrą **File NewTake**,



File

New Take

arba aktyvuoti jau esamą **File Load Take**.



File

Load Take

Pasirinkus **File NewTake** automatiškai duodamos lentelės, kurias reikia užpildyti aprašant visus reikiamus duomenis. Pabaigus būtina **File Save Take** komanda, tada įvesti duomenys išsaugomi ir gali būti toliau naudojami modeliavimui. Išsaugojus šią struktūrą jokie jos pakeitimai nebėra galimi, atlikus bet kokius keitimus struktūra įrašoma kitu vardu, atsiranda kita struktūra.



File

Save Take

Standartinis geometrijos apibrėžimas. Tūrius ir medžiagas įvesti naudojamas **Input menu**. Šis meniu leidžia geometrijos pasirinkimą **Input Box**, **Input Cylinder**, **Input Sphere** komandų pagalba.



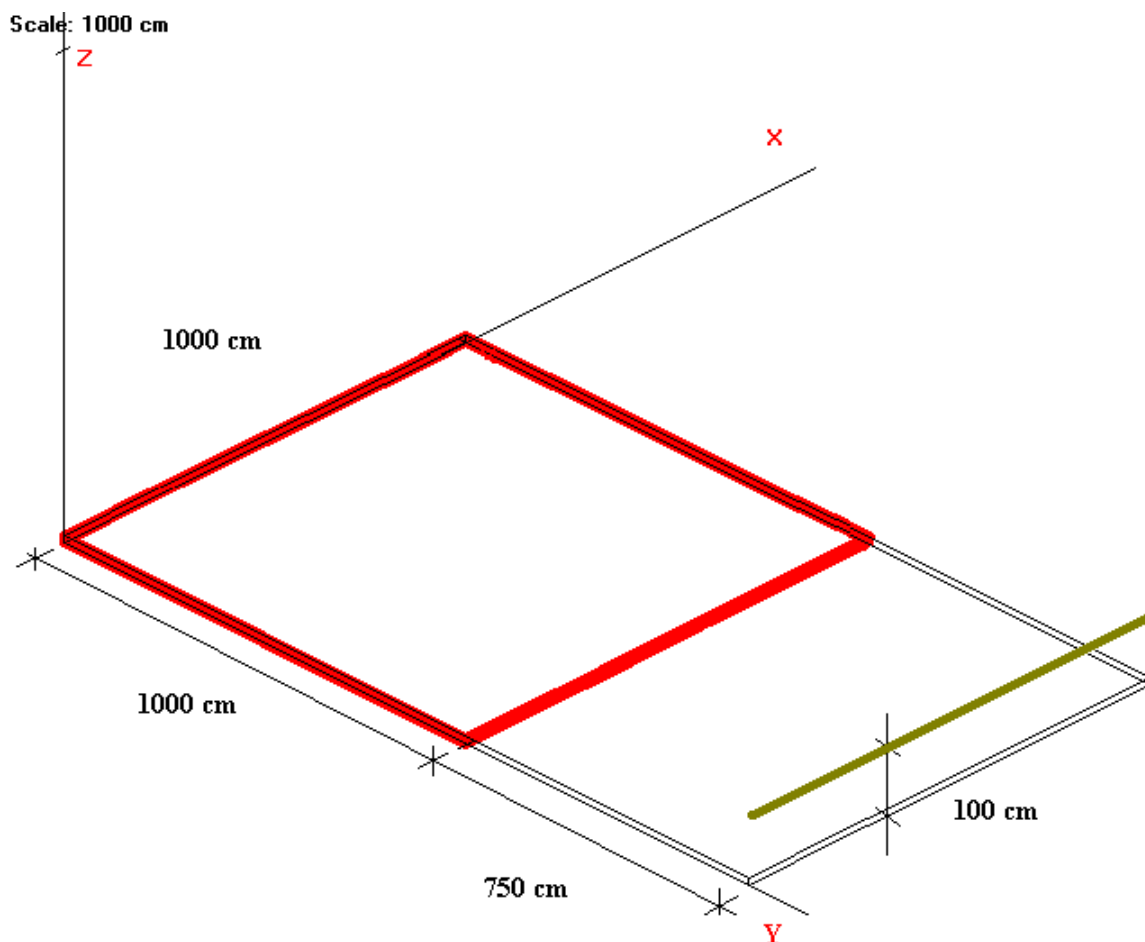
Input

Box

Structures komanda įgalina įvesti jau anksčiau apibrėžtos geometrijos tūrius. Kiekvienam tūriui reikalinga parinkti medžiagą.

Galima pasirinkti iš duotų medžiagų tokių, kaip betonas, švinas, uranas, oras, vanduo, stiklas ir kitų. Jų pasirinkimas svarbus dėl to, kad skiriasi jų tankiai.

Iš duotų medžiagų pasirenkamas betonas. Šaltinio geometrija apibrėžiama naudojantis **Input Box** komanda.

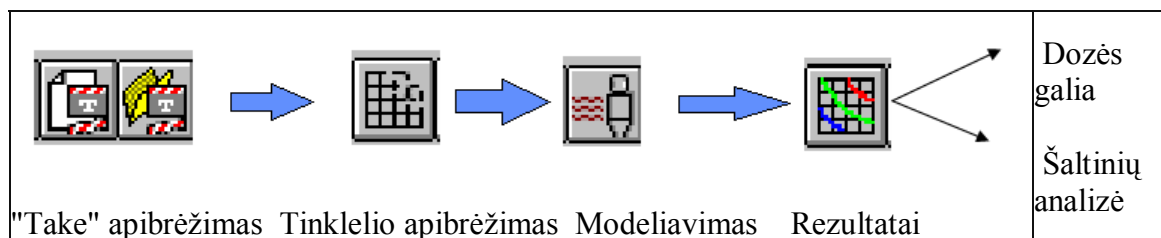


2.5 pav. Tūrių ir šaltinių aprašymas **Take** struktūroje

Kaip matyti iš 2.5 pav. duomenų, sudaromas modelis: apibrėžiant šaltinį – asfalto dangą ir pakelės zonoje 7,5m atstumu nuo asfalto, 1m aukštyje nagrinėjamą vietą. Toliau atliekama pagrindinė analizė.

Pagrindinės analizės etapas

Šiame etape gaunami dozės galios modeliavimo rezultatai erdvėje. Galima planuoti kokių priemonių reikia imtis dozėms sumažinti. Tai gali būti šaltinio ekranavimas (pavyzdžiui, pakelės apželdinimas) ar šaltinio stiprumo sumažinimas.



2.6 pav. Dozės galios žemėlapių analizės schema

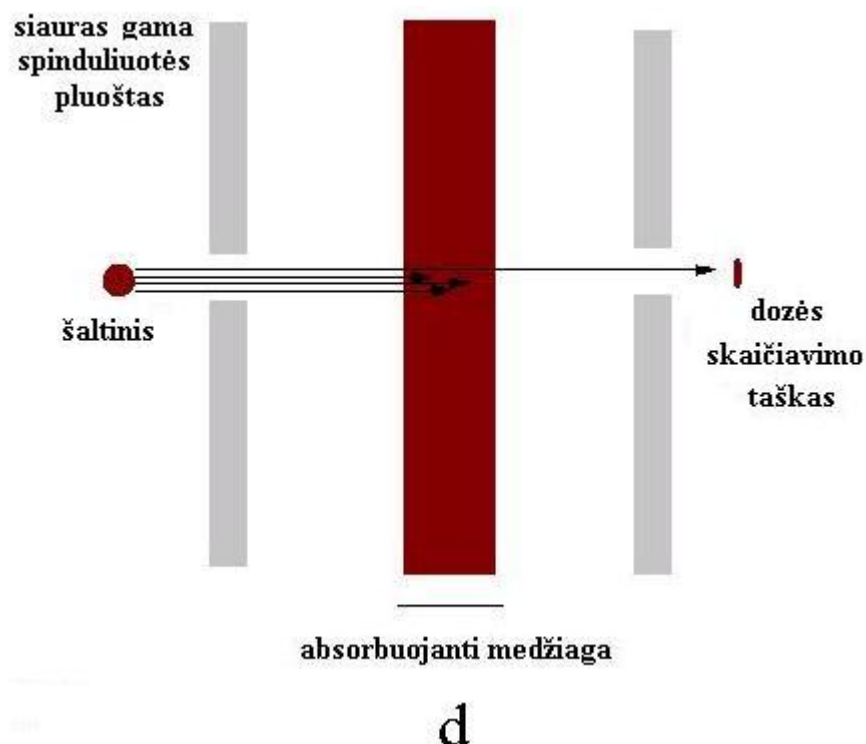
Remiantis jau sukurta **Take** struktūra, galima sukurti dozių pasiskirstymo žemėlapius. Pirmiausia reikia užduoti tinklėlį **Edit grid** komanda. Kai jau tinklėlis yra sukurtas, vykdyti dozių modeliavimą **Calculate dose rate** komanda. Dozės galios pasiskirstymas tinklėlyje modeliavimas remiasi taškiniu Kernelio metodu su pataisa.

Dozės galios pasiskirstymo žemėlapių pateikimas gaunamas **Results grids** komanda. Modeliavimo rezultatai pateikiami spalvotų izolinijų ir taškų išraiška. Tai galima padaryti kiekvienam duomenų rinkiniui. Nagrinėjant dozės galios žemėlapius, identifikuojamos pavojingos vietos, kuriose darbuotojai gali gauti dideles dozes. Išnagrinėjus gautus duomenis galima keisti geometriją **Take** struktūroje, išsaugant kaip naują, ir vėl nagrinėti sumodeliuotus žemėlapius, taip ieškant sprendimo, optimalių ekrano geometrinių parametrų, storio. Tai daroma paleidus esamą struktūrą **File Load Take** su komanda **load Take for updating to a new Take** geometrijos pakeitimui. Tada reikia peržiūrėti arba pataisyti tinklėlį **show and edit the grid**, **Edit grid** komandos pagalba. Palyginimas skirtingų variantų įgalina pamatyti ekranavimo efektyvumo skirtynes.

Pagrindinės analizės rezultatas – dozės galios pakeleje pasiskirstymo žemėlapis. Žemėlapiai pateikiami tiek dvimatėje, tiek trimatėje erdvėje. Sumodeliuoti dozės galios žemėlapiai pateikiami 3.3.1. skyriuje - LDG pažemio ore nuo asfalto dangos modeliavimo rezultatai.

Fizikiniai ir matematiniai programos aspektai

Gama spinduliuotės sąveiką su medžiaga esant siauram spinduliuotės pluoštui iliustruoja 2.7 pav. ir 2.15 formulė. Gama spinduliuotė intensyvumas silpnėja dėl absorbcijos.



2.7 pav. Siauro gama spinduliuotės pluošto sąveika su medžiaga

$$F = F_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}; \quad (2.15)$$

čia: F_0 – spinduliuotės intensyvumas;

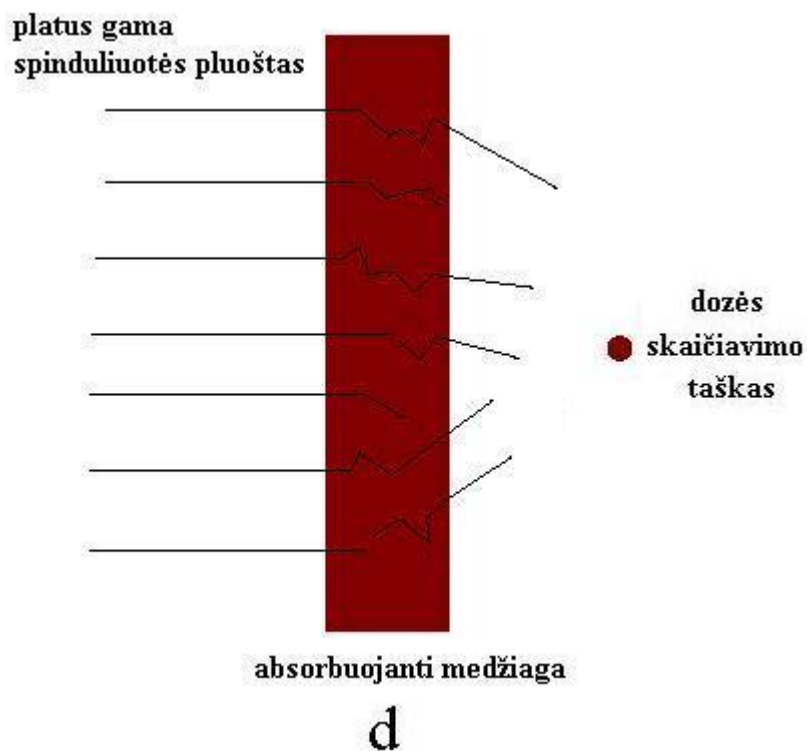
F – spinduliuotės intensyvumas praėjus pro medžiagą;

μ - silpninimo koeficientas;

d – absorbuojančios medžiagos storis.

Iš formulės matyti, kad dalį jonizuojančiosios spinduliuotės sugeria medžiaga. Ši sugertis priklauso nuo medžiagos sluoksnio storio d per kurį spinduliuotė skverbiasi, bei silpninimo koeficiento μ .

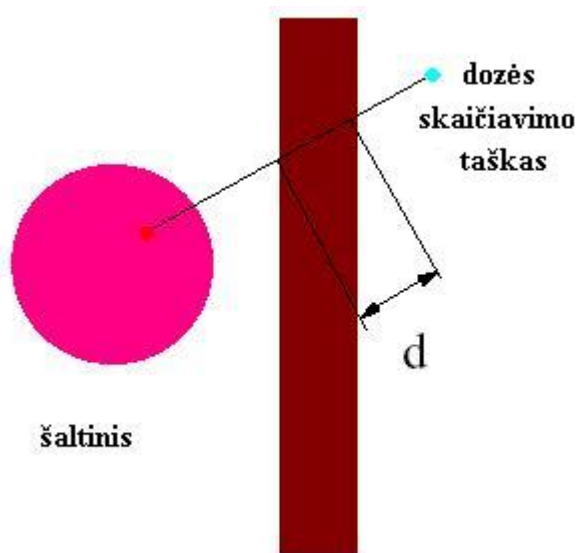
Nagrinėjant platų jonizuojančiosios spinduliuotės pluoštą gama spinduliuotės sąveiką su medžiaga iliustruoja 2.15 pav. ir 2.16 formulė:



2.8 pav. Plataus gama spinduliuotės pluošto sąveika su medžiaga

$$\Phi = \Phi_0 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot d}; \quad (2.16)$$

čia : B – faktorius, atsirandantis dėl fotonų sklaidos ir išsibarstymo.



2.9 pav. Taškinis Kernelio metodas

Formulė taškiniam šaltiniui $\Phi = \frac{S \cdot B \cdot e^{-x}}{4 \cdot \pi \cdot \rho^2}$, kur $x = \mu \cdot d$; (2.17)

Formulė tūriniam šaltiniui:
$$d\Phi = \frac{S \cdot B \cdot e^{-x}}{4 \cdot \pi \cdot \rho^2} dV; \quad (2.17)$$

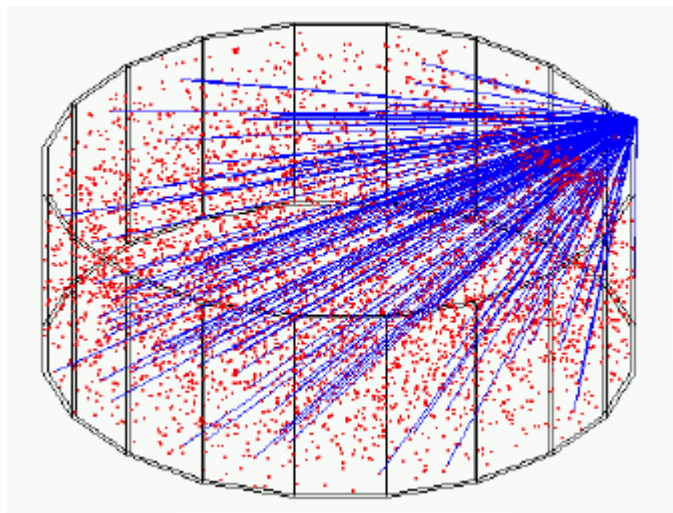
Taškinis Kernelio metodas su pataisa:

$$x = \sum \mu_i \tau_i; \quad (2.18)$$

$$B(E, x) = A_1 \exp(-\alpha_1 x) + A_2 \exp(-\alpha_2 x); \quad (2.19)$$

Teiloro pataisa:

$$\Phi = \int_V \frac{S \cdot B \cdot e^{-x}}{4 \cdot \pi \cdot \rho^2} dV; \quad (2.20)$$



2.10 pav. Taškinis Kernelio metodo modelis

Dozės galia:

$$\text{Dozės galia (mSv} \cdot \text{h}^{-1}) = \sum h(E) \cdot \Phi(E). \quad (2.21)$$

3. DARBO REZULTATAI

3.1. EKSPEDICIJŲ DUOMENŲ ANALIZĖ

3.1.1. Žiemos ekspedicija magistralėje A6 Kaunas–Zarasai

Ekspedicija vyko **2004 m. sausio 12-13 d.** žiemos sąlygomis. Ekspedicijos metu vyraavusios meteorologinės sąlygos **sausio 12** dieną buvo: oro temperatūra apie 0°C Kaune, kito nuo 0°C iki -2°C Zarasuose. Vėjo kryptis pietų, pietvakarių, vėjo greitis 6,7 m/s, santykinė oro drėgmė 86 %, atmosferos slėgis 744 mm Hg. **Sausio 13** dieną: oro temperatūra kito nuo -1°C iki -2°C Kaune, Zarasuose kito nuo -1°C iki -3°C . Vėjo kryptis pietvakarių, vėjo greitis 6,0 m/s, santykinė oro drėgmė 86 %, atmosferos slėgis 746 mm Hg. Magistralėje išmatuota sniego danga buvo nevienodo storio, kito nuo 10 cm iki 24,5 cm.

A6–1 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų matavimo vietovių duomenys

Vietovės numeris	Atstumas nuo Kauno, vietovė	Skersinio profilio koordinatės		Aukštis virš jūros lygio, m	Sniego dangos storis, cm
		N	E		
A6(1)	29,5 km, Jonava	55°03'52"	24°16'44"	46	13,5
A6(2)	72 km, Ukmergė	55°16'04"	24°48'24"	66	11,5
A6(3)	108,5 km, ties Skiemonimis	55°26'05"	25°15'20"	130	10,0
A6(4)	134 km, Utena	55°30'34"	25°38'08"	124	15,0
A6(5)	166 km, Degučiai	55°39'35"	26°03'21"	124	18,0
A6(6)	179 km, prieš Zarasus	55°43'04"	26°13'20"	126	24,5

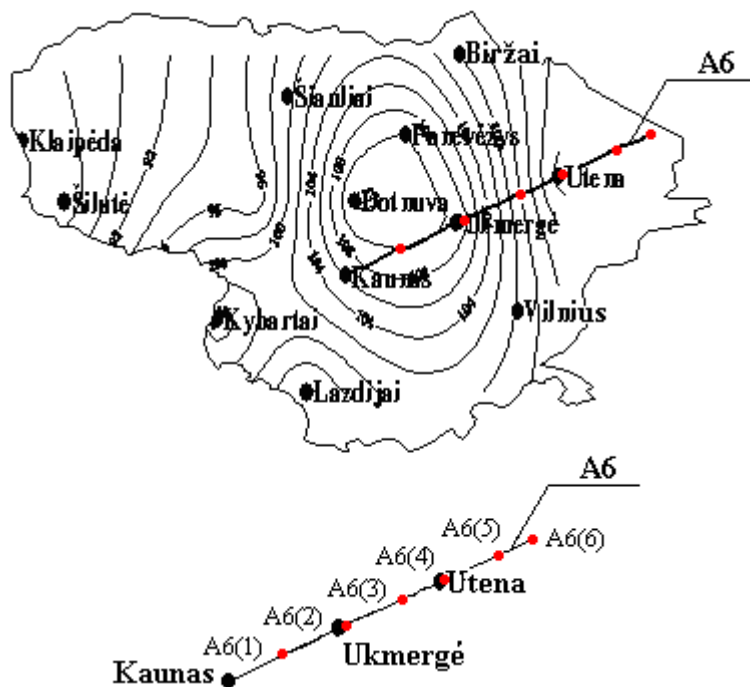
Šioje ekspedicijoje lygiavertės dozės galia žemės paviršiuje ore buvo matuojama šešių vietovių, magistralei statmenų ruožų taškuose, 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m nutolusiuose nuo asfalto dangos.

Matavimo vietos magistralėje Kaunas – Zarasai A6 (180 km)

Iš A6-1 pav. matyti, kad magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai** yra šešios LDG pažemio ore matavimo vietovės, pažymėtos simboliais A6(1).

Šiame darbe nustatytosios LDG pažemio ore vertės yra lyginamos su vertėmis, Fizikos instituto darbuotojų nustatytais 2001 m. regione ir ekstrapoliuojant matavimo vietai pagal

izolinijas (A6-1 pav. ir A6-2 lentelė). LDG pažemio ore vertės A6 magistralės regione, nustatytos 2001m. yra 90 – 110 nSv · h⁻¹. [8]



A6-1 pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m. nSv·h⁻¹

A6 -2 lentelė. LDG pažemio ore vertės matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, nSv·h⁻¹

Magistralė	A6					
Matavimo vietovė	A6(1)	A6(2)	A6(3)	A6(4)	A6(5)	A6(6)
LDG vertės, nustatytos 2001m. nSv·h ⁻¹	110	108	98	92	90	90

A6 (1). Prieš Jonavą. 29 km nuo Kauno. Lygi vietovė, pakelė apšodinta medžiais. Toliau nuo kelio pavieniai medžiai. Kairėje kelio pusėje yra mūrinių silikatinių plytų pastatų apie 20 m nuo

kelio. Asfalto danga apsnigta. Keturių juostų kelias su skiriamąja juosta, kurios viduryje yra tvorelė. Sniego danga 135 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ (A6-1 lentelė).

A6 (2). Pravažius Ukmerge, neprivažius viaduko. 70 km nuo Kauno. Kairėje kelio pusėje atviras laukas, įkalnė. Toliau nuo kelio gyvenvietė. Dešinėje kelio pusėje sodai. Yra namų labai arti kelio (5-7 metrai). Sniego danga 115 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $108 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

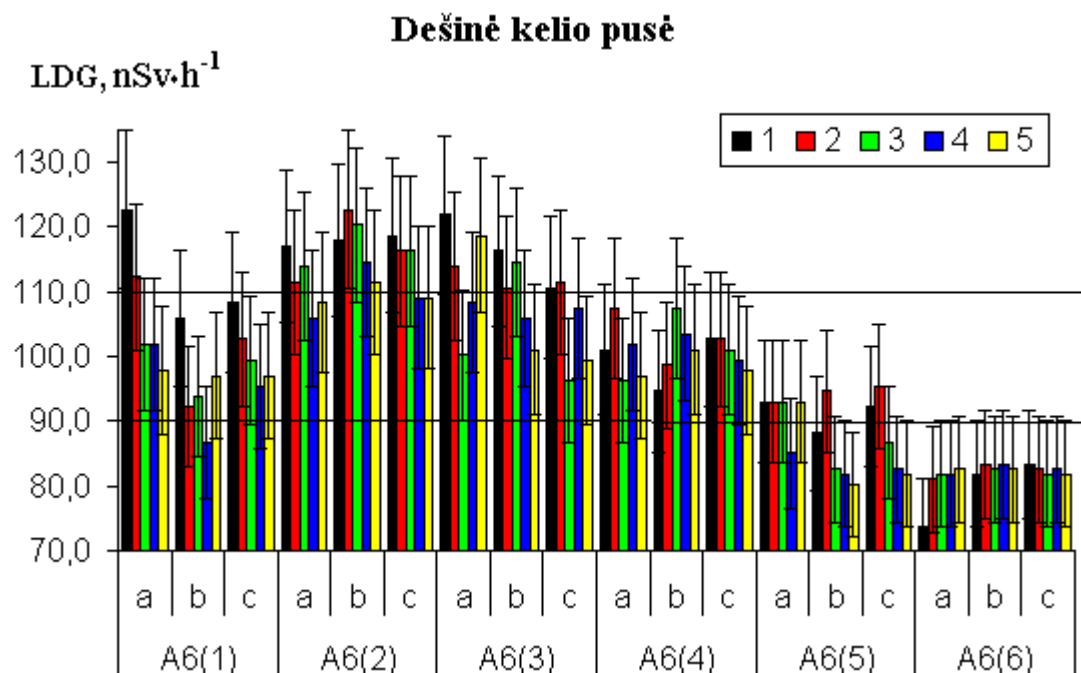
A6 (3). Ties Skiemonimis. 109 km nuo Kauno. Kelias yra 3-5 m aukščiau vietovės lygio. Vietovė lygi. Kairėje kelio pusėje pavieniai medžiai. Dešinėje kelio pusėje matavimo ruožai šalia miško. Sniego danga 145 mm. Šioje vietovėje išmatuota ploniausia 100 milimetrų sniego danga, lyginant su sniego dangos storiu, nustatytu kitose matavimo vietose. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $98 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A6 (4). Išvažius iš Utenos. 125m nuo Kauno. Vietovė lygi. Pakelė apsodinta medžiais. Toliau nuo kelio abiejuose pusėse yra pavieniai namai. Sniego danga 150 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $92 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A6 (5). Ties Degučių gyvenvieta. 166 km nuo Kauno. Kairėje kelio pusėje kalnas, dešinėje nuolydis. Pavieniai namai abiejuose kelio pusėse, kairėje pusėje arčiau kelio, nei dešinėje. Sniego danga 180 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $90 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A6 (6). Prieš Zarasus. 179 km nuo Kauno. Dešinėje kelio pusėje miškas, kairėje pusėje statomas medinis pastatas, pavieniai medžiai. Šioje vietovėje išmatuota 245 milimetrų sniego danga, lyginant su sniego dangos storiu, išmatuotu kitose matavimo vietose - tai didžiausia vertė. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $90 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

LDG pažemio ore matavimo rezultatai

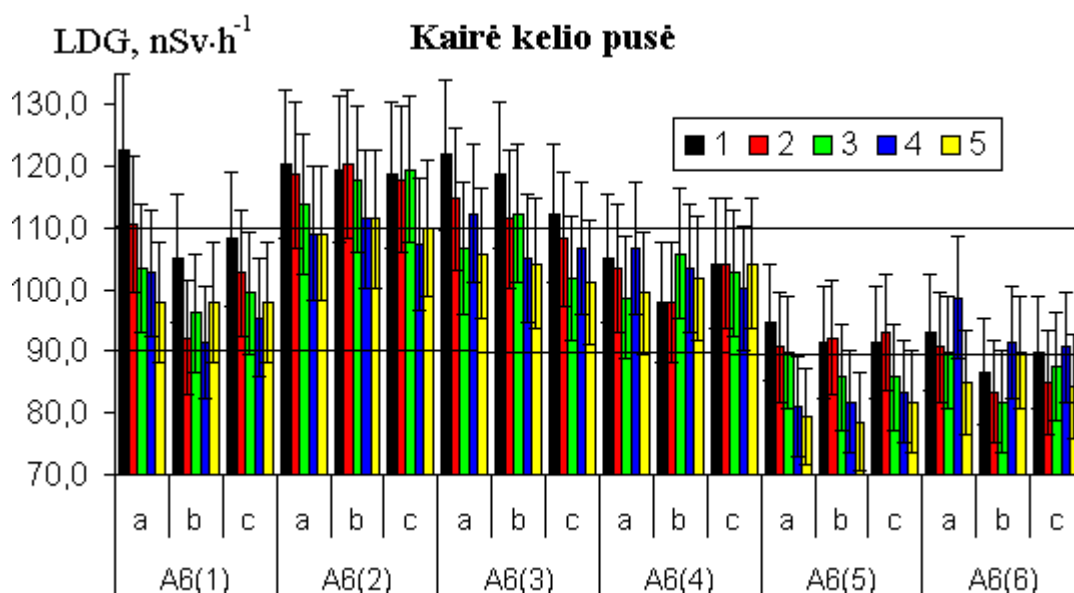


A6 -2 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Kaunas–Zarasai** (dešinioji magistralės pusė, 2004 01 12–13): A6 – vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m.

„–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės dešinėje pusėje matavimo vietose yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais (90 –110 nSv·h⁻¹). A6(5) vietovėje LDG vertės pažemio ore paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms regione, o A6(6) vietovėje LDG pažemio ore vertės visuose ruožuose vidutiniškai 5,7% mažesnės už nustatytą 90 nSv·h⁻¹ vertę. A6(1), A6(2), A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse išmatuotos LDG vertės pažemio ore viršija nustatytas 2001m. Ypač 7,5 ir 20 metrų atstume (A6-3 lentelė).

Tose pačiose vietovėse, bet kairiojoje magistralės pusėje išmatuotųjų lygiavertės dozės galios prie žemės paviršiaus vertės pateiktos A6-3 pav.



A6–3 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Kaunas–Zarasai** (kairiojoje magistralės pusėje 2004 01 12–13): A6– vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį LDG lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

Kairiojoje pusėje išmatuotos LDG vertės pažemio ore išsidėsčiusios panašiai, kaip ir dešiniojoje, tose pat vietovėse, kaip ir dešinėje asfalto pusėje viršija LDG pažemio ore vertes. A6(1), A6(2) ir A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse išmatuotos pažemio ore viršija nustatytąsias 2001m., ypač 7,5 ir 20 metrų atstume (A6-4 lentelė). A6(5) ir A6(6) vietovėse pažemio ore mažiausios visoje magistralėje, paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms.

A6–3 lentelė. LDG pažemio ore vertės, nustatytos 7,5 m ir 20 m atstume nuo asfalto, dešinėje kelio pusėje

Vietovė	Ruožas	110 nSv·h ⁻¹ viršijimas, procentais 7,5 m atstume nuo asfalto	110 nSv·h ⁻¹ viršijimas, procentais 20 m atstume nuo asfalto
A6(1)	a	12	2
A6(2)	a	6	1
	b	7	12
	c	8	6
A6(3)	a	11	4
	b	6	1
	c	1	1
Vidutiniškai, %		7	4

Dešiniojoje kelio pusėje nustatytos LDG pažemio ore vertės 7,5 m atstume nuo asfalto vidutiniškai 7 %viršija 110 nSv·h⁻¹ vertę, 2001m. nustatytąją regione, o 20 m atstume nuo asfalto -

vidutiniškai 4 %. LDG pažemio ore vertės, 7,5 m atstume nuo asfalto, daugiausia viršija A6(1) a ruože - 12% ir A6(3) a ruože - 11%; 20 m atstume nuo asfalto daugiausia viršija A6(2) A6(2) b ruože - 12%.

A6–4 lentelė. LDG pažemio ore vertės, nustatytos 7,5 m ir 20 m atstume nuo asfalto, kairėje kelio pusėje

Vietovė	Ruožas	110 nSv·h ⁻¹ viršijimas, procentais 7,5 m atstume nuo asfalto	110 nSv·h ⁻¹ viršijimas, procentais 20 m atstume nuo asfalto
A6(1)	a	12	1
A6(2)	a	9	8
	b	9	9
	c	8	7
A6(3)	a	11	4
	b	8	1
	c	2	-
Vidutiniškai, %		8	5

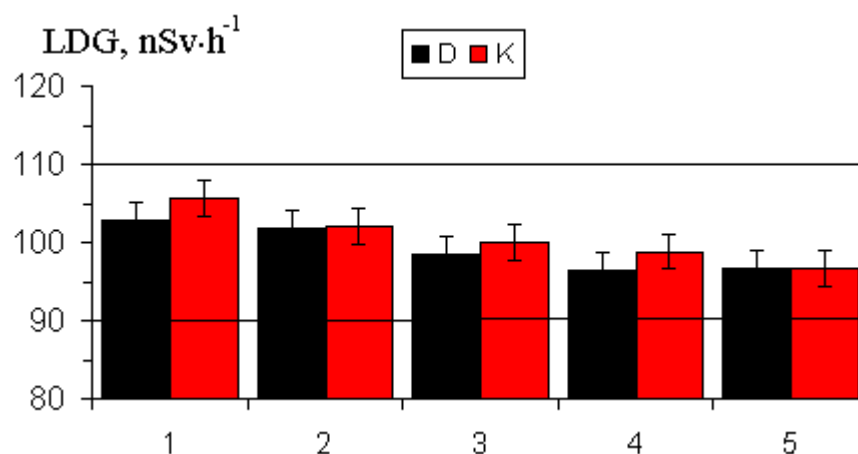
Kairiojoje kelio pusėje nustatytosios LDG pažemio ore vertės 7,5 m atstume nuo asfalto vidutiniškai 8 % viršija 110 nSv·h⁻¹ vertę, 2001m.nustatytąją regione, o 20 m atstume nuo asfalto - vidutiniškai 5 %. Tendencija nesikeičia - 7,5 m atstume nuo asfalto nustatytosios LDG pažemio ore vertės viršija 110 nSv·h⁻¹ labiau, nei 20 m atstume gautos vertės. LDG pažemio ore vertės, 7,5 m atstume nuo asfalto, daugiausia viršija A6(1) a ruože - 12% ir A6(3) a ruože - 11%; 20 m atstume nuo asfalto daugiausia viršija A6(2) vietovėje, vidutiniškai 8%.

Žiemos ekspedicijos metu nustatytieji lygiavertės dozės galios duomenys apibendrinti A6-5 lentelėje.

A6–5 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės Kaunas - Zarasai, statistiniai duomenys

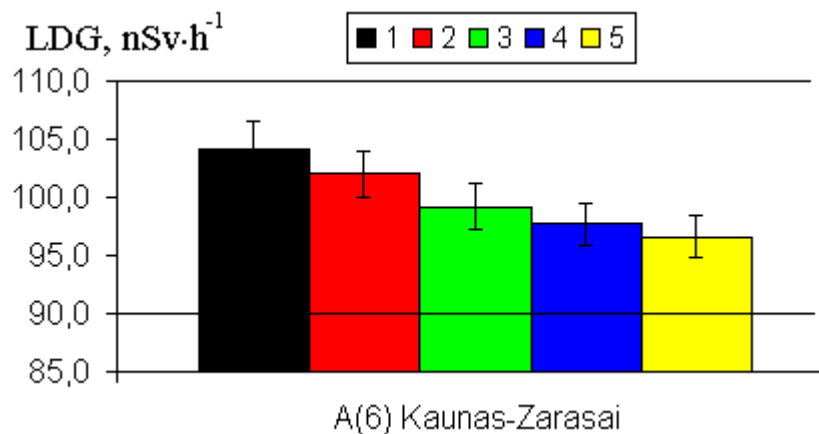
Statistinis parametras	Atstumas nuo asfalto dangos				
	7,5 m	20 m	50 m	100 m	150 m
Vidutinė vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	104,2	102,0	99,2	97,7	96,6
Mažiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	73,8	81,0	81,8	81,0	78,6
Didžiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	122,7	122,7	120,3	114,7	118,7
Mediana, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	105,1	102,7	99,5	101,1	97,9
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	2,3	2,0	2,0	1,8	1,8
Bandinių skaičius	36	36	36	36	36

š A6–5 lentelės duomenų matyti, kad 7,5 metrų atstume vidutinė LDG vertė pažemio ore yra didžiausia, lyginant su toliau nuo asfalto dangos nustatytosiomis vidutinėmis vertėmis. 7,5 ir 20 metrų atstume išmatuotos vidutinės LDG vertės pažemio ore nesiskiria paklaidų ribose, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, gautos matuojant toliau nuo asfalto dangos.



A6–4 pav. Vidutinės LDG vertės pažemio ore dešiniojoje ir kairiojoje magistralės **Kaunas–Zarasai** pusėse (2004 01 12–13): atstumas nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; D – dešinė magistralės pusė; K – kairė magistralės pusė; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$)

Lygiavertės dozės galios vertės, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria. tai reiškia, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys. Kairiojoje pusėje kai kur reikšmės šiek tiek didesnės, bet viršutinės ribos 110 $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$, nesiekia.

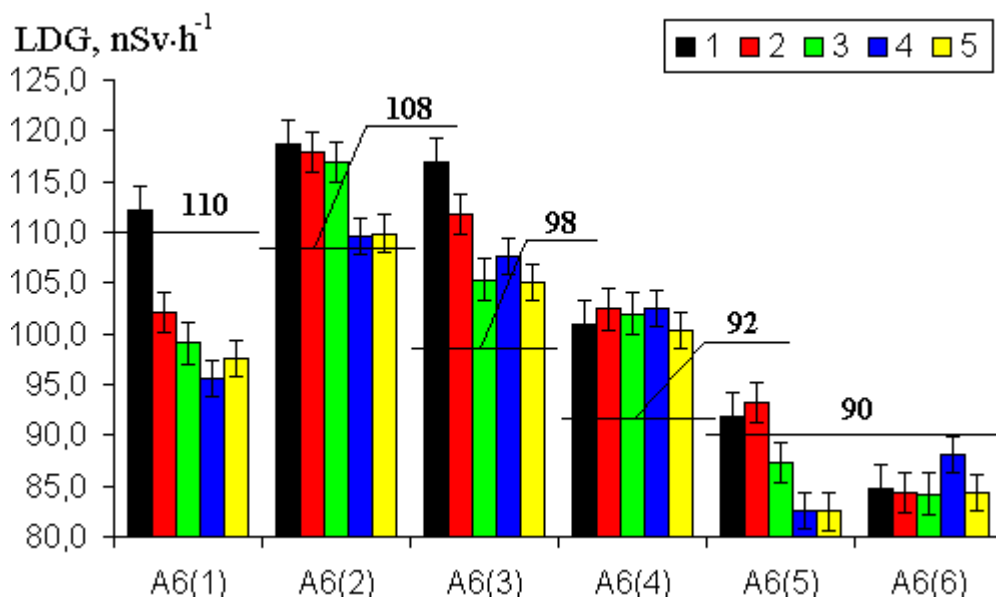


A6–5 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos. matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

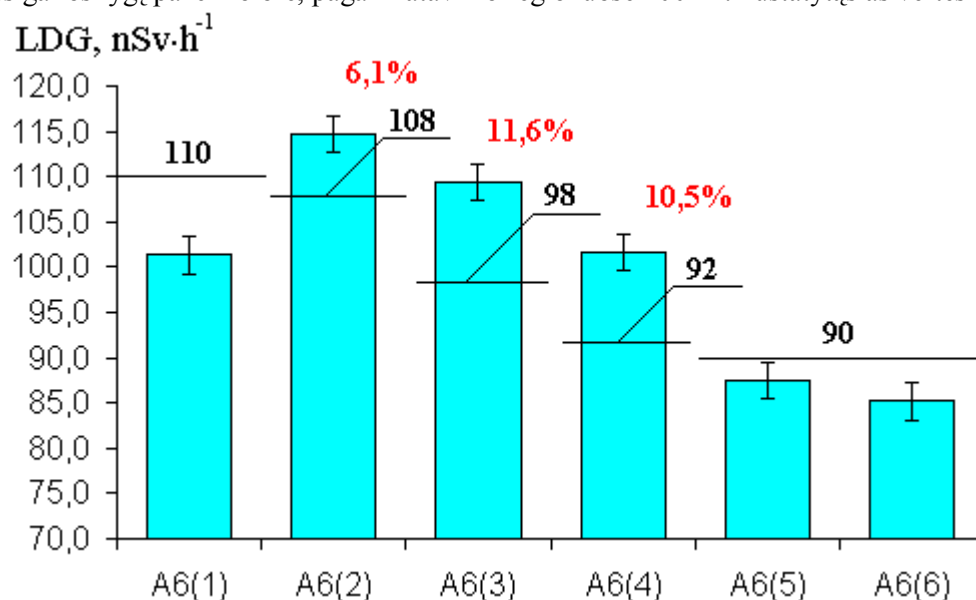
Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos.

Pagal A6-4 ir A6-5 pav. matyti, kad ir vidutinės LDG pažemio ore vertės 7,5 m atstume nuo asfalto yra didesnės už vertes, išmatuotąsias kituose atstumuose.

Kaip matome iš A6–1 lentelės, sniego dangos storis magistralėje labai įvairus, kinta nuo 10,0 iki 24,5 cm. Sniego dangos storio vidurkis visoje magistralėje 15,4 cm. Didžiausias sniego dangos storis išmatuotas A6(6) simboliu pažymėtoje vietovėje, prieš Zarasus net 24,5 cm. Didelis sniego dangos storis galėjo turėti įtakos LDG vertėms pažemio ore. Kaip matyti iš A6-2 ir A6-3 pav. duomenų, A6(5) ir A6(6) vietovėse lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore yra mažesnės, lyginant su vertėmis kitose magistralės vietose, kaip tik šiais simboliais pažymėtuose vietovėse sniego dangos storis yra didžiausias, atitinkamai 18 cm ir 24,5 cm. Mažiausias sniego dangos storis išmatuotas A6(2) ir A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse, atitinkamai 10 cm ir 11,5 cm. Čia išmatuotosios LDG vertės pažemio ore yra didesnės ir viršija 2001m.nustatytas tuose regionuose atitinkamas vertes. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė. Matavimus būtina atlikti vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos. Palyginus vasaros ir žiemos duomenis bus matyti dirvos paviršiniuose sluoksniuose esančių radionuklidų įtaka LDG formavimuisi.



A6–6 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A6 **Kaunas–Zarasai**: A6(1) – vietovė ir joje numatyta matavimo vieta; matavimo vietų atstumai nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes



A6–7 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**. „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes. % rodo LDG pažemio ore paviršį, lyginant su regiono ekstrapoliuotąja verte pagal [8] darbą

Pagal A6-6 pav. LDG vertės vidutinės (visų ruožų) pažemio ore šalia magistralės matavimo vietovėse yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 m. (90 –110 nSv·h⁻¹) arba viršija išmatuotos LDG vertės nustatytas 2001m. atitinkamuose regionuose. Tą viršijimą ypač sąlygoja didelės LDG vertės pažemio ore 7,5 ir 20 metrų atstumuose

nuo asfalto A6(1), A6(2), A6(3) ir A6(5) simboliu pažymėtose vietovėse. A6(4) ir A6(6) vietovėse LDG vertės pažemio ore paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms.

Pagal A6-7 pav., matavimo regionuose ekstrapoliuotas vidutinis lygiavertės dozės galios lygis pažemio ore pagal 2001m. duomenis visoje magistralėje kito nuo 90 iki 110 nSv·h⁻¹. Didžiausias vidutinis LDG lygis 110 nSv·h⁻¹ nustatytas simboliu A6(1) pažymėtoje vietovėje. 2001m. mažiausias LDG lygis nustatytas A(5) ir A(6) simboliu pažymėtomis vietovėms, 90 nSv·h⁻¹. Išmatuotosios vidutinės (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore A6(1), A(5) ir A(6) vietovėse neviršija nustatytųjų 2001m. A6(2), A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) LDG pažemio ore vertės viršija 2001m. nustatytas vertes atitinkamai 108, 98 ir 92 nSv·h⁻¹, t.y. 6,1% 11,6% ir 10,5% . A6(3) ir A6(4) vietovėse LDG vertės pažemio ore neviršija nustatytos didžiausios vertės regione 110 nSv·h⁻¹ . A6(2) simboliu pažymėtoje vietovėje vidutinis LDG pažemio ore lygis viršija didžiausią nustatytą vertę 110 nSv·h⁻¹, nustatytąją regione 2001m.

3.1.2. Išvados apie žiemos ekspedicijos rezultatus

1. Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose yra paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais (90 –110 nSv·h⁻¹).
2. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos.
3. Lygiavertės dozės galios vertės, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria.
4. Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visai magistralei A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.
5. Sniego dangos storis vidutiniškai visoje magistralėje sudarė 15,4 cm. Didžiausias sniego dangos storis išmatuotas A6(6) simboliu pažymėtoje vietovėje, siekė net 24,5 cm. Didelis sniego dangos storis galėjo turėti įtakos LDG vertėms pažemio ore.

6. Vidutinės LDG vertės pažemio ore (visų ruožų) A6(1), A6(2), A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse viršija regione nustatytąsias LDG pažemio ore vertes ypač 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto,.

7. A6(2), A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse, visų matavimų vidutinės tose vietovėse (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) viršija nustatytąsias regione vertes, atitinkamai 6,1% 11,6% ir 10,5%. A6(2) simboliu pažymėtoje vietovėje vidutinis LDG pažemio ore lygis viršija net didžiausią vertę $110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ nustatytąją 2001 m. regione.

Rekomendacijos

1. Matavimus būtina atlikti vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos. Palyginus vasaros ir žiemos duomenis bus galima nustatyti dirvos paviršiniuose sluoksniuose esančių radionuklidų įtaka LDG formavimuisi.

3.1.3. Vasaros ekspedicija magistralėje A6 Kaunas–Zarasai

Ekspedicija vyko **2004 m. gegužės 12-13 d.** vasaros sąlygomis. Ekspedicijos metu vyraavusios meteorologinės sąlygos **gegužės 12** dieną buvo: oro temperatūra apie $+17^{\circ}\text{C}$ Vilniuje, $+19^{\circ}\text{C}$ Kaune. Vėjo kryptis pietryčių, vėjo greitis Vilniuje 2,0 m/s, Kaune 2,0 m/s. Santykinė oro drėgmė 88 %, atmosferos slėgis 101,1 kPa. **Gegužės 13** dieną: oro temperatūra kito nuo $+12^{\circ}\text{C}$ Kaune iki 10°C Zarasuose. Vėjo kryptis šiaurės rytų, vėjo greitis 5,2 m/s, santykinė oro drėgmė 86 %, atmosferos slėgis 100,0 kPa.

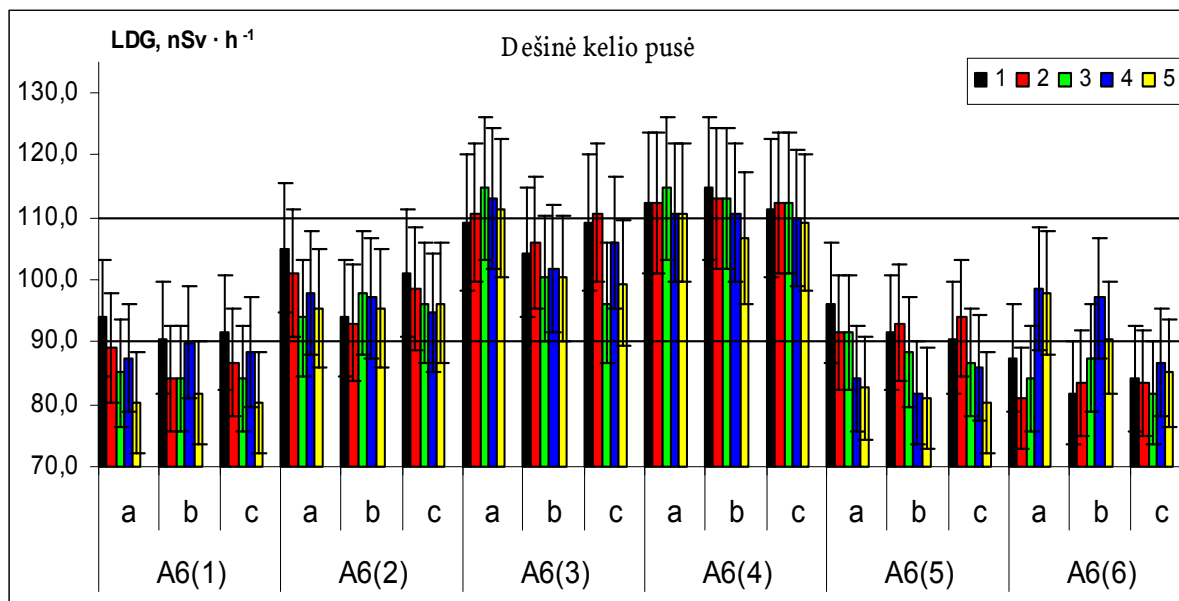
LDG vertės pažemio ore šiame regione, nustatytos 2001 m. yra $90 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ [8].

LDG pažemio ore matavimo rezultatai

Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės dešinėje pusėje matavimo vietose yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais ($90 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$).

A6(5) vietovėje LDG vertės pažemio ore paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms

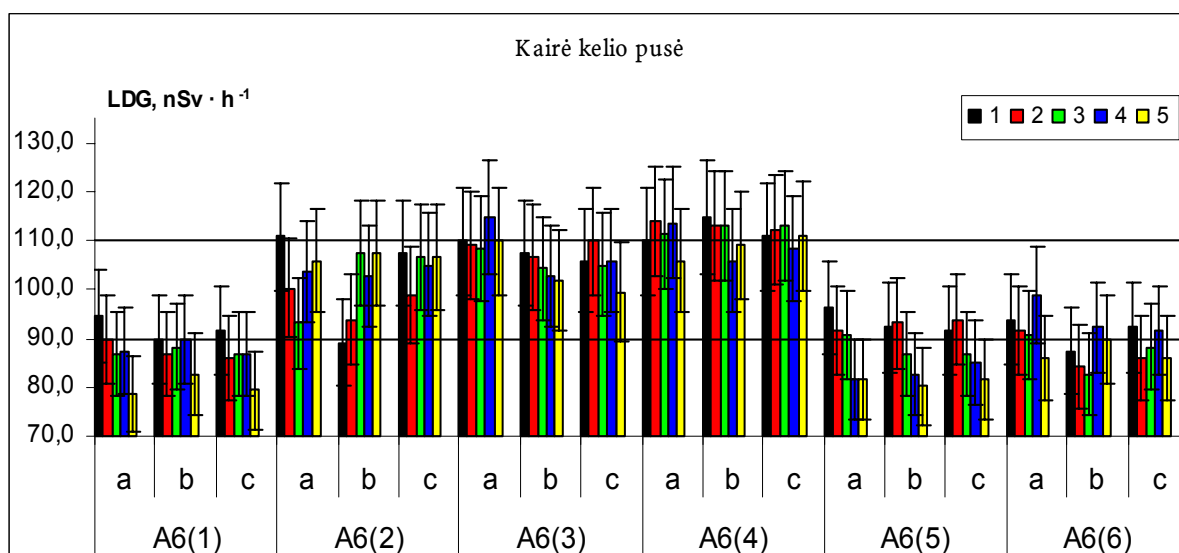
regione, o A6(6) vietovėje LDG pažemio ore vertės visuose ruožuose vidutiniškai 2,4 % mažesnės už nustatytą $90 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ vertę. A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse išmatuotos LDG vertės pažemio ore viršija nustatytas 2001m. (A6-8 pav.)



A6-8 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės Kaunas–Zarasai (dešinioji magistralės pusė, 2004 05 12–13): A6 – vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptims; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m. „—“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore ($90 - 110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$)

Tose pačiose vietovėse, bet kairiojoje magistralės pusėje išmatuotųjų lygiavertės dozės galios prie žemės paviršiaus vertės pateiktos A6-9 pav.

Kairiojoje pusėje išmatuotos LDG vertės pažemio ore išsidėsčiusios panašiai, kaip ir dešiniojoje, tose pat vietovėse, tose pačiose vietose viršija LDG pažemio ore vertes, nustatytas regione A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse išmatuotos LDG vertės pažemio ore viršija nustatytą 2001m. A6(1), A6(5) ir A6(6) vietovėse LDG vertės pažemio ore mažiausios visoje magistralėje, paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms.



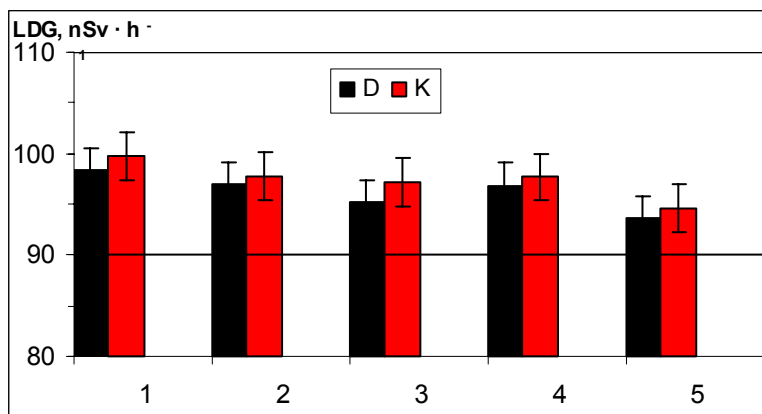
A6–9 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Kaunas–Zarasai** (kairiojoje magistralės pusėje 2004 05 12–13): A6– vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001 m. nustatytą vidutinę LDG lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

Abiejose kelio pusėse A6(3) a ruože ir A6(4) simboliu pažymėtoje vietovėje LDG pažemio ore vertės gautos 2 procentais didesnės, nei 110 nSv·h⁻¹. Žiemos ekspedicijos metu nustatytieji lygiavertės dozės galios duomenys apibendrinti A6-6 lentelėje.

A6–6 lentelė. Vasaros ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės Kaunas - Zarasai, statistiniai duomenys

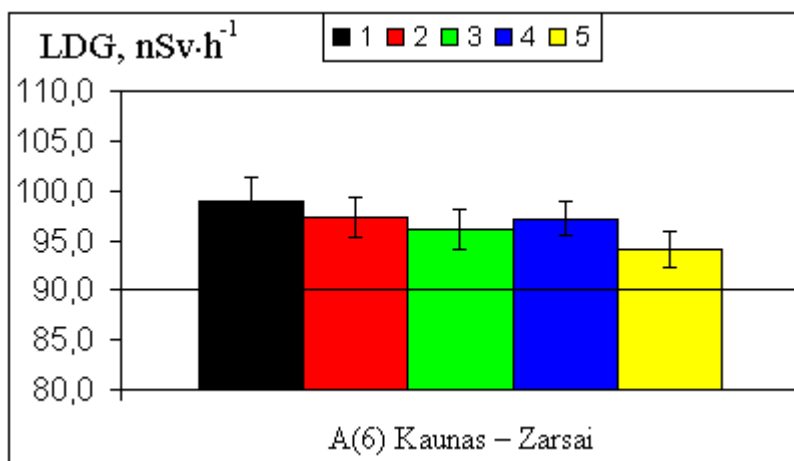
Statistinis parametras	Atstumas nuo asfalto dangos				
	7,5 m	20 m	50 m	100 m	150 m
Vidutinė vertė, nSv · h ⁻¹	99,0	97,3	96,2	97,2	94,1
Mažiausioji vertė, nSv · h ⁻¹	81,8	81,0	81,8	81,8	78,6
Didžiausioji vertė, nSv · h ⁻¹	114,7	113,9	114,7	114,7	111,5
Mediana, nSv · h ⁻¹	95,5	93,9	92,2	97,5	95,5
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, nSv · h ⁻¹	0,8	1,1	1,3	1,4	1,1
Bandinių skaičius	36	36	36	36	36

Iš A6–6 lentelės duomenų matyti, kad 7,5 metrų atstume vidutinė LDG vertė pažemio ore yra didžiausia, lyginant su toliau nuo asfalto dangos nustatytosiomis vidutinėmis vertėmis. 7,5 ir 20 metrų atstume išmatuotos vidutinės LDG vertės pažemio ore nesiskiria paklaidų ribose, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, gautos matuojant toliau nuo asfalto dangos.



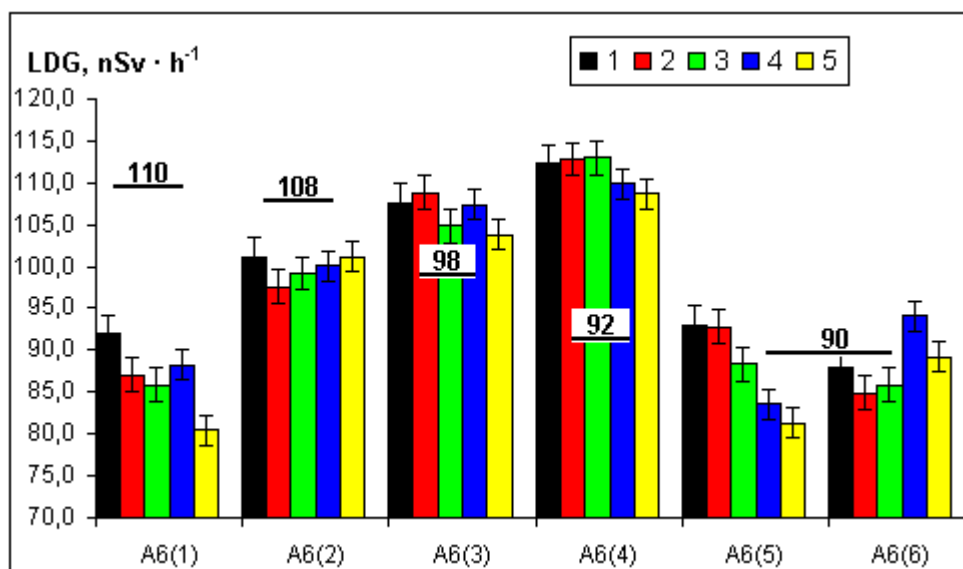
A6–10 pav. Vidutinės LDG vertės pažemio ore dešiniojoje ir kairiojoje magistralės **Kaunas–Zarasai** pusėse (2005 01 12–13): atstumas nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; D – dešinė magistralės pusė; K – kairė magistralės pusė; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

Lygiavertės dozės galios vertės, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria. tai reiškia, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys. Kairiojoje pusėje kai kur reikšmės 1,5% didesnės, bet viršutinės ribos 110 nSv·h⁻¹, nesiekia.

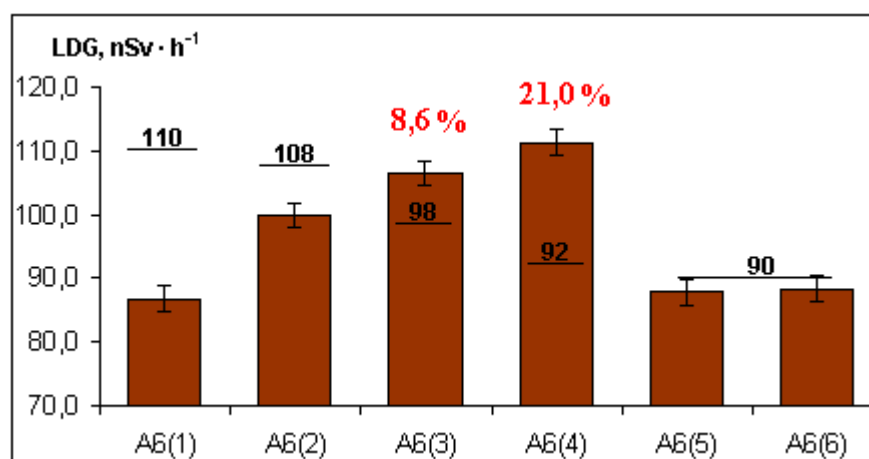


A6–11 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos. matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos.



A6–12 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A6 **Kaunas–Zarasai**: A6(1) – vietovė ir joje numatyta matavimo vieta; matavimo vietų atstumai nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes

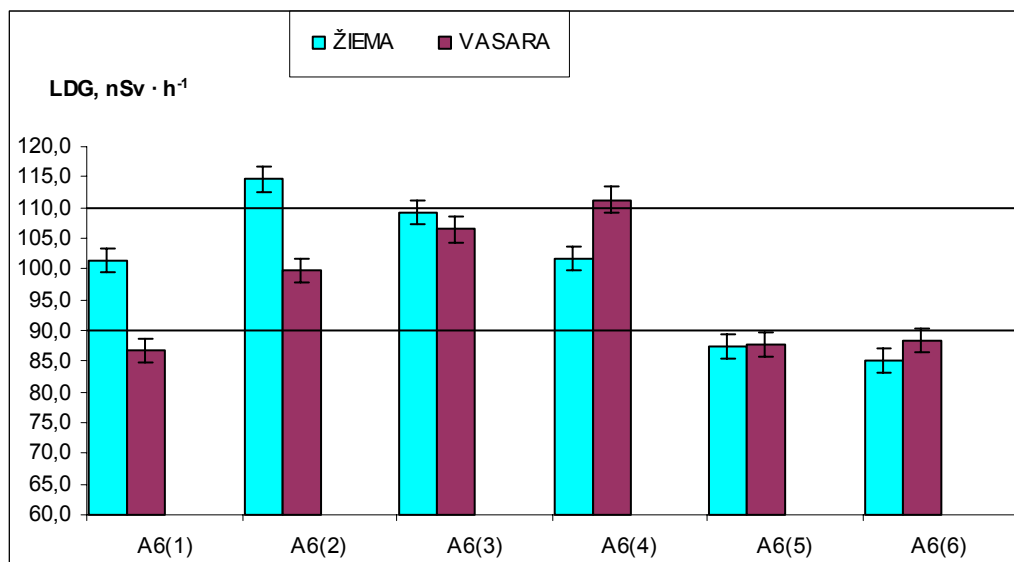


A6–13 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai**. „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes. % rodo LDG pažemio ore paviršių, lyginant su regiono ekstrapoliuotąja verte pagal [8] darbą

Pagal A6-12 pav. LDG vertės vidutinės (visų ruožų) pažemio ore šalia magistralės matavimo vietovėse yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 m. (90 –110 nSv·h⁻¹) arba viršija išmatuotos LDG vertes nustatytas atitinkamuose regionuose. A6(5) ir A6(6) vietovėse LDG vertės pažemio ore paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms.

Pagal A6-13 pav. matavimo regionuose 2001m. ekstrapoliuotas vidutinis lygiavertės dozės galios lygis pažemio ore pagal 2001m. duomenis visoje magistralėje kito nuo 90 iki 110 nSv·h⁻¹. A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) LDG pažemio ore vertės viršija 2001m. nustatytas vertes atitinkamai 98 ir 92 nSv·h⁻¹, t.y. 8,6% ir 21,0%. A6(4) simboliu pažymėtoje vietovėje vidutinis LDG pažemio ore lygis vienu procentu viršija didžiausią nustatytą vertę 110 nSv·h⁻¹, nustatytąją regione 2001m.

Apibendrinimui pateikiami duomenys, kurie atspindi LDG pažemio ore verčių kaitą, šalia magistralės A6 Kaunas – Zarasai, priklausomai nuo metų laiko (A6-14 pav.)



A6-14 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG ore prie žemės paviršiaus vertės žiemą ir vasarą visoje magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** . ; „–” – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

A6-14 pav. palygintos LDG pažemio ore vertės žiemą ir vasarą. Iš A6 – 14 pav. matyti A6(1), A6(2) ir A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse LDG pažemio ore vertės žiemą gautos didesnės, negu matuojant vasarą. O A6(4) ir A6(6) simboliu pažymėtose vietovėse LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemą. A6(2) vietovėje vasaros ir žiemos LDG pažemio ore verčių skirtumas 25%.

3.1.4. Išvados apie vasaros ekspedicijos rezultatus

1. Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais ($90 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$).
2. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos.
3. Lygiavertės dozės galios vertės, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria.
4. Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visai magistralei A6 **Kaunas–Zarasai**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės $110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ ribos. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.
5. A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse, visų matavimų vidutinės tose vietovėse (pagal visus ruožus ir visus atstumus nuo asfalto) viršija nustatytąsias regione vertes, atitinkamai 8,6% 21,0%. A6(4) simboliu pažymėtoje vietovėje vidutinis LDG pažemio ore lygis 1% viršija didžiausią vertę $110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ nustatytąją 2001m. regione.

Tose vietose, kuriose lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore buvo didesnės negu kitose magistralės vietovėse, paimti ir radiometriškai ištirti dirvožemio bandiniai. Radionuklidų savitojo aktyvumo dirvožemyje vertės surašytos A6-7 lentelėje.

A6-7 lentelė. Radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia magistralės A6, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$

Matavimo vieta ir atstumas nuo asfalto	Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2} \text{ m}$	^{226}Ra	^{208}Tl	^{137}Cs	^{228}Ac	^{40}K
A6(1), 7,5 m	0-3	$14,9 \pm 1,0$	$5,6 \pm 0,4$	$8,9 \pm 0,6$	$16,8 \pm 1,5$	325 ± 5
	3-6	$8,8 \pm 0,5$	$7,8 \pm 0,4$	$8,4 \pm 0,4$	$22,5 \pm 1,4$	343 ± 3
	6-9	$15,3 \pm 2,4$	$5,2 \pm 0,9$	$7,4 \pm 1,1$	$20,1 \pm 3,8$	417 ± 14
	10-15	$14,6 \pm 2,1$	$5,9 \pm 0,8$	$8,9 \pm 1,0$	$6,9 \pm 1,8$	345 ± 12
	15-20	$14,3 \pm 0,9$	$5,9 \pm 0,4$	$5,6 \pm 0,5$	$21,2 \pm 1,8$	350 ± 10
	20-25	$10,5 \pm 1,1$	$5,9 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,5$	$21,1 \pm 3,7$	400 ± 10
A6(2), 7,5 m	0-5	$15,3 \pm 1,8$	$5,2 \pm 0,8$	$1,5 \pm 0,4$	$8,8 \pm 1,8$	343 ± 12
A6(2), 20 m	0-3	$15,7 \pm 1,5$	$5,8 \pm 0,6$	$5,9 \pm 0,7$	$13,0 \pm 2,0$	370 ± 10
	3-6	$20,0 \pm 2,0$	$7,0 \pm 1,0$	$2,5 \pm 0,6$	$14,4 \pm 3,2$	394 ± 11

A6-7. lentelės tęsinys. Radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia magistralės A6, $Bq \cdot kg^{-1}$

Matavimo vieta ir atstumas nuo asfalto	Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	^{226}Ra	^{208}Tl	^{137}Cs	^{228}Ac	^{40}K
A6(2), 20 m	6-9	$22,1 \pm 2,6$	$5,6 \pm 0,9$	$6,4 \pm 1,1$	$17,4 \pm 3,6$	460 ± 20
	10-15	$16,1 \pm 0,7$	$7,8 \pm 0,4$	$5,2 \pm 0,3$	$22,9 \pm 1,4$	402 ± 4
	15-20	$25,6 \pm 4,1$	$4,0 \pm 1,0$	$10,0 \pm 2,0$	$23,8 \pm 4,8$	380 ± 20
	20-25	$7,7 \pm 1,1$	$5,9 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,5$	$18,8 \pm 3,6$	320 ± 10
A6(3), 7,5 m	0-3	$14,4 \pm 1,3$	$5,3 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,3$	$16,3 \pm 2,2$	290 ± 10
	3-6	$14,5 \pm 1,4$	$4,5 \pm 0,5$	$2,7 \pm 0,4$	$14,8 \pm 2,6$	376 ± 11
	6-9	$12,3 \pm 1,2$	$3,3 \pm 0,7$	$1,8 \pm 0,4$	$5,2 \pm 1,6$	370 ± 10
	10-15	$11,2 \pm 1,3$	$3,5 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,4$	$4,2 \pm 0,8$	277 ± 9
	15-20	$16,5 \pm 2,3$	$4,8 \pm 0,8$	$2,4 \pm 0,5$	$9,3 \pm 2,2$	384 ± 13
	20-25	$10,5 \pm 1,1$	$5,9 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,5$	$21,1 \pm 3,7$	400 ± 10
A6(6), 7,5 m	0-5	$12,1 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,2$	$15,0 \pm 9,0$	278 ± 4

A6-7 lentelėje pateikti radionuklidų savitųjų aktyvumų dydžiai įvertinti lyginant juos su vidutinėmis vertėmis, nustatytomis visoje Lietuvos teritorijoje. Šitie duomenys surašyti A6-8 lentelėje.

A6-8 lentelė. Radiometrinių duomenų grunte palyginimas

Radionuklidas	Lietuvoje, $Bq \cdot kg^{-1}$	Šalia A6(1), $Bq \cdot kg^{-1}$	Šalia A6(2), $Bq \cdot kg^{-1}$	Šalia A6(3), $Bq \cdot kg^{-1}$
^{226}Ra	$11,0 \pm 11,0$	$13,1 \pm 1,3$	$17,5 \pm 2,0$	$13,2 \pm 1,4$
^{208}Tl	$6,0 \pm 8,0$	$6,1 \pm 0,6$	$5,9 \pm 0,8$	$2,4 \pm 0,4$
^{228}Ac		$18,1 \pm 2,6$	$17,0 \pm 2,9$	$11,8 \pm 2,2$
^{40}K	540 ± 360	360 ± 10	380 ± 10	396 ± 10
^{137}Cs	22 ± 20	$8,7 \pm 0,5$	$3,7 \pm 0,8$	$2,1 \pm 0,5$

3.1.5. Bendrosios išvados apie LDG pažemio ore kaitą šalia magistralės A6

1. A6(1), A6(2) ir A6(3) simboliais pažymėtose vietovėse LDG pažemio ore vertės žiemą gautos didesnės, negu matuojant vasarą. A6(2) vietovėje vasaros ir žiemos LDG pažemio ore verčių skirtumas 25%. LDG vertės pažemio ore galėjo padidinti sniego krituliai, kurie išplauna iš oro radionuklidus, daugiausia radono skilimo produktus, susirenkančius žemės paviršiuje ir didina vertes LDG pažemio ore. Todėl galėjo būti išmatuotos padidintos LDG

vertės pažemio ore. Be to tikrinama versija ar nebuvo radionuklidais užterštas sniegas, kurio spinduliuotė padidino esamą LDG lygį.

2. A6(4) ir A6(6) simboliais pažymėtose vietovėse, LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ^{222}Rn ekshaliaciją iš grunto ir tuo pačiu sumažino ore LDG vertes. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė ir žiemos metu arti magistralės matavimo vietose nebuvo lokalių radioaktyviosiomis medžiagomis taršos šaltinių.
3. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose tiek vasarą tiek žiemą yra paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m. nustatytoms tuose regionuose atitinkamai $90 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ A6 magistralei.
4. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos. Žiemą 3 %, vasarą 2%.
5. Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėse, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja tiek žiemą tiek vasarą. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės $110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ ribos. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.
6. Radionuklido ^{226}Ra savitieji aktyvumai grunte, šalia A6(1), A6(2) ir A6(3) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Šalia A6(1) apie 19%, šalia A6(2) apie 59% ir šalia A6(1) apie 20%. Radionuklido ^{208}Tl savitieji aktyvumai grunte, šalia A6(1) apie 2% viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Tai rodo grunto sudėties savitumą šiame regione. Tai galėjo turėti įtakos LDG pažemio ore padidėjimui.

3.1.6. Žiemos ekspedicija magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga

Ekspedicija vyko **2004 m. sausio 27-28 d.** žiemos sąlygomis. Ekspedicijos metu vyraavusios meteorologinės sąlygos **sausio 27** dieną buvo: oro temperatūra kito nuo -7°C iki -5°C Panevėžyje, nuo -6°C iki -5°C Šiauliuose ir nuo -3°C iki -5°C Palangoje. Vėjo kryptis rytų, pietryčių, vėjo greitis 5 m/s, santykinė oro drėgmė 84 %, atmosferos slėgis 742 mm Hg. **Sausio 28** dieną: oro temperatūra kito nuo -8°C iki -5°C Panevėžyje, nuo -6°C iki -8°C Šiauliuose, nuo -3°C iki -5°C Palangoje. Vėjo kryptis rytų, vėjo greitis 5 m/s, santykinė oro drėgmė 84 %, atmosferos slėgis 743 mm Hg. Šalia magistralės išmatuota sniego danga buvo nevienoda, kito nuo 11 cm iki 16,5 cm. LDG vertės pažemio ore šiame regione, nustatytos 2001 m. yra $86 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. [8]

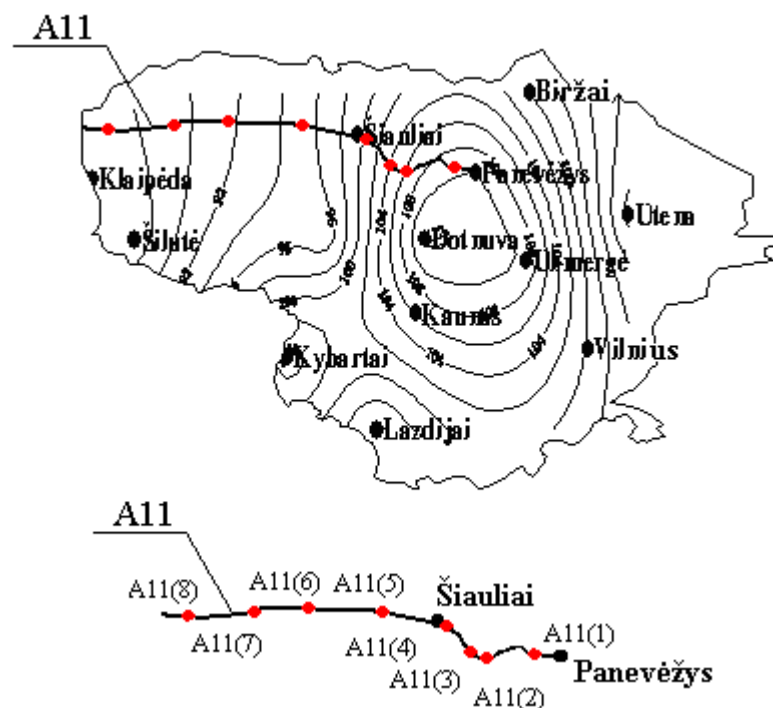
A11–1 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų matavimo vietovių duomenys

Vietovės numeris	Vietovė	Sniego dangos storis, cm
A11(1)	Berčiūnai	14,5
A11(2)	Šeduva, ties Baukais	14,0
A11(3)	Pravažiavus Radviliškį	15,0
A11(4)	Prieš Šiaulius, Aleksandrija	16,5
A11(5)	Kuršėnai	11,5
A11(6)	Prieš Telšius. Degaičiai	11,0
A11(7)	Prieš Plungę. Babrungas	13,0
A11(8)	Kretinga	12,0

Šioje ekspedicijoje lygiavertės dozės galia žemės paviršiuje ore buvo matuojama šešių vietovių, magistralei stamenų ruožų taškuose, 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m nutolusiuose nuo asfalto dangos. Magistralės A11 ilgis 232 kilometrai.

Matavimo vietos magistralėje Panevėžys – Šiauliai – Palanga A11 (232 km)

Iš A11-1pav. matyti, magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** yra aštuonios matavimo vietovės pažymėtos simboliais A11(1).



A11-1 pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m. $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$

A11- 2 lentelė. LDG pažemio ore vertės matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$

Magistralė	A11							
Matavimo vietovė	A11(1)	A11(2)	A11(3)	A11(4)	A11(5)	A11(6)	A11(7)	A11(8)
LDG vertės, nustatytos 2001m. $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	110	106	104	100	95	92	89	86

A11 (1). Berčiūnai. Matavimai buvo atliekami Berčiūnų gyvenvietėje, apie 10 kilometrų nuo Panevėžio. Apie 30 metrų nuo kelio, abiejose kelio pusėse yra gyvenamųjų namų. Prie namų yra sodai. Kelias yra vietovės lygyje. Asfalto danga apsnigta. Automobilių srautas nedidelis. Sniego dangą 145 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ (A6-1 lentelė).

A11 (2). Šeduva, ties Baukais. Matavimai buvo atliekami 40 kilometre nuo Panevėžio. Kelias yra vietovės paviršiaus lygyje. Netoli nuo kelio, už 100 metrų yra vienas gyvenamas namas. Apie 200 metrų nuo kelio yra gyvenvietė. Dešinėje kelio pusėje dirbamos žemės plotai, gyvenamųjų namų nėra. Pakelėje nėra nei medžių, nei krūmų. Sniego dangą 140 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $106 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A11 (3). Pravažiavus Radviliškį. Už kelio ir geležinkelio pervažos. Kelias yra be skiriamosios juostos ir tame pat lygyje su vietovės paviršiumi. Už 100 metrų yra geležinkelio linija. Pakelė apsodinta medžiais. Už 30 - 40 metrų nuo kelio yra keli seni gyvenamieji namai. Dešinėje kelio pusėje yra kolektyviniai sodai, aptverti tvora. Asfalto dangą šlapia. Automobilių eismas intensyvus. Sniego dangą 150 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $104 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A11 (4). Prieš Šiaulius. Apie 75 km nuo Panevėžio. Lygiavertės dozės galios matavimai buvo atliekami Aleksandrijos gyvenvietėje. Šioje vietovėje reljefas kairėje ir dešinėje kelio pusėse skiriasi. Dešinėje kelio pusėje įkalnė, o už 50 metrų staigi nuokalnė. Iki 200 metrų atstume nuo kelio nėra medžių ar krūmų, o toliau auga pušynas. Kairė kelio pusė yra žemiau kelio. Pakelėje yra gyvenamieji namai. Šioje vietovėje išmatuota 165 mm sniego dangą, lyginant su sniego dangos storium, gautu išmatavus kitose matavimo vietose - tai didžiausia vertė. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $100 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A11 (5). Kuršėnai. Tik įvažiavus miestelį, apie 25 kilometre nuo Šiaulių. Šis kelias yra be skiriamosios juostos, tame pačiame lygyje su vieta. Netoli nuo kelio, apie 15-20 metrų, yra gyvenamųjų namų. Abiejose kelio pusėse auga krūmai, pavieniai medžiai. Ant kelio daug suvažinėto sniego. Sniego dangą siekia 115 mm. LDG vertė pažemio ore, matavimo vietai yra $95 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

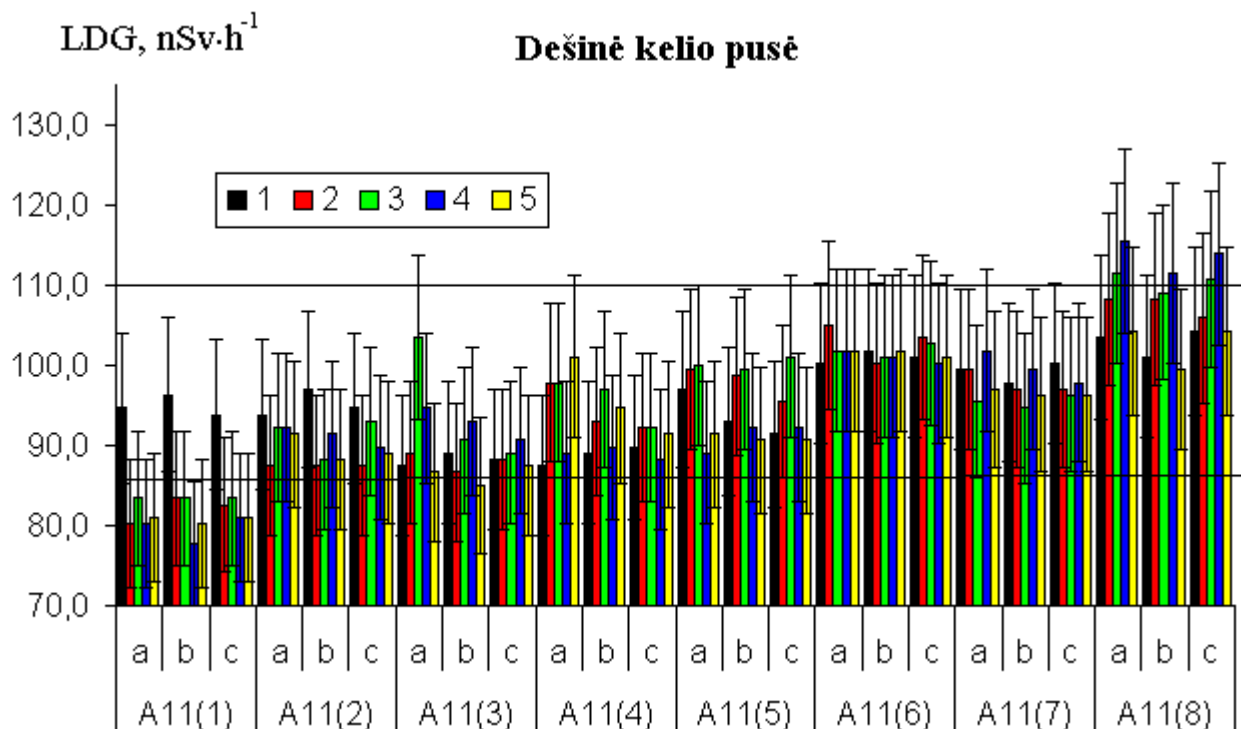
A11 (6). Prieš Telšius. Degaičių gyvenvietė. Apie 64 kilometre nuo Šiaulių. Čia kairioji kelio pusė yra žemiau negu dešinioji. Abiejose kelio pusėse dirbamos žemės plotai, nėra medžių, gyvenamųjų pastatų. Kairėje kelio pusėje, už 200-250 metrų, yra miškas. Eismas matuotoje vietoje neintensyvus. Sniego dangą 120 mm. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $92 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A11 (7). Prieš Plungę. Matavimai buvo atliekami prieš Plungę, Babrungo gyvenvietėje, apie 92 kilometre nuo Šiaulių. Čia kelias yra be skiriamosios juostos ir yra vos žemiau vietovės lygio. Dešinėje kelio pusėje, 20 metrų nuo kelio, yra gyvenamasis namas, apjuostas aukšta gyvatvore, o kitoje – dirbamos žemės plotas, už 150 metrų gyvenamasis namas, o už jo prasideda miškas. Matavimai atlikti įkalnėje. Sniego dangą siekia 130 mm. Leistinos LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $89 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

A11 (8). Tik įvažiavus į Kretingą. Šioje matavimo vietoje kelias apie 1,5 metro aukščiau už vietovės lygį. 300 metrų spinduliu nėra nei medžių, nei krūmų, nei gyvenamųjų namų ar kitokių statinių. Tiek kairėje, tiek ir dešinėje kelio pusėje yra pievos. Asfalto dangą sausa. Šioje vietovėje išmatuota ploniausia 110 milimetrų sniego dangą, lyginant su sniego dangos storium, gautu išmatavus kitose matavimo vietose. LDG vertė pažemio ore matavimo vietai yra $86 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

Šiame darbe nustatytosios LDG pažemio ore vertės yra lyginamos su vertėmis, Fizikos instituto darbuotojų nustatytomis 2001 m. regione ir ekstrapoliuojant matavimo vietai pagal izolinijas (A11-1 pav. ir A11-2 lentelė).

LDG pažemio ore vertės A11 magistralės regione, nustatytos 2001 m. yra 86 – 110 nSv · h⁻¹.

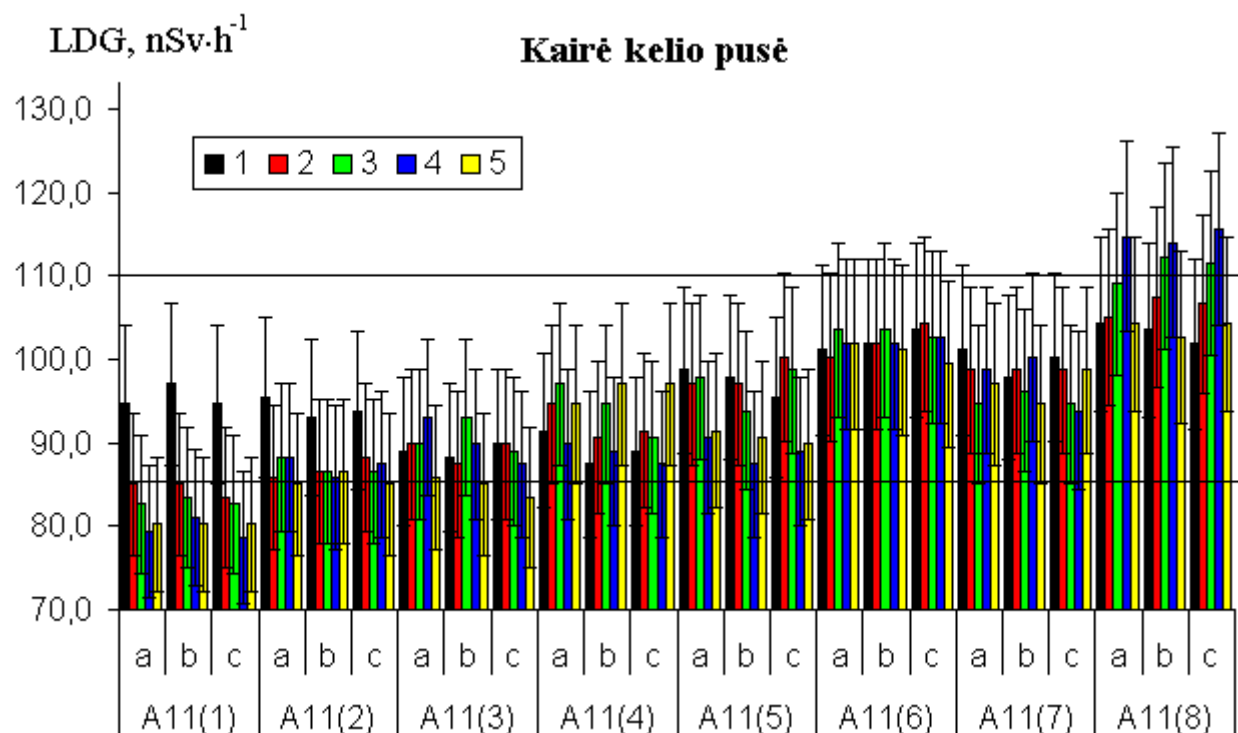


A11-2 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (dešinioji magistralės pusė, 2004 01 12–13): A11– vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės dešinėje pusėje matavimo vietose yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais (86 –110 nSv·h⁻¹). A11(3) a ruožo 50 m atstume nuo asfalto, bei A11(4) a, b ir c ruožuose nustatytos didesnės, nei gretimose vietose vertės. Gal tokias vertes lemia radionuklidai esantys grunte. Matavimus būtina kartoti vasarą ir nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą dirvožemyje. A11(5) 100 m ir 150 m atstume LDG vertės pažemio ore gerokai mažesnės už artimesnėse vietose gautas vertes. Tikrai A11(8) vietovėje 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m atstume nuo asfalto šios vertės yra viršijamos regione nustatytosios vertės: 50 m atstume nuo asfalto viršija 110 nSv·h⁻¹ vidutiniškai 1,7%, 100 m atstume nuo asfalto – vidutiniškai 4,3 %. Šioje vietovėje nėra nei gyvenamųjų namų, ar kitokių statinių. Tiek kairėje, tiek ir dešinėje kelio pusėje yra pievos.

Viršijimo priežastis turbūt - radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, formuojama jonizuojančioji spinduliuotė. 7,5 m atstume nuo asfalto dangos LDG pažemio ore padidėjimas gali būti nulemtas užteršto, ar sumaišyto su keliui tiesti naudotomis medžiagomis, grunto arba, net asfalte esančiųjų medžiagų, spinduliuote.

Tose pačiose vietovėse, bet kairiojoje magistralės pusėje išmatuotųjų lygiavertės dozės galios prie žemės paviršiaus vertės pateiktos A11-3 pav.



A11–3 pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 01 12–13): A11– vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio krypčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Kairiojoje pusėje išmatuotos LDG vertės pažemio ore išsidėsčiusios panašiai, kaip ir dešiniojoje pusėje, yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais (86 –110 nSv·h⁻¹). A11(1) ir A11(2) simboliu pažymėtose vietovėse ypač 7,5 m atstume nuo asfalto vertės skiriasi nuo tolesnėse vietose nustatytų verčių. A11(1), A11(2) ir A11(3) vietovėse LDG vertės pažemio ore yra mažiausios visoje magistralėje. Kairiojoje magistralės pusėje A11(3) ruože, skirtingai nuo dešinėsios pusės nenustatyta 50 m atstume didesnė vertė, nei kituose atstumuose. A11(4) a, b ir c ruožuose 100 m atstume nuo asfalto, kaip ir dešiniojoje pusėje,

nustatyta didesnė LDG vertė pažemio ore vertė, lyginant su kitomis, nustatytomis gretimose vietovėse. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės, kairiojoje pusėje, A11(6) ir A11(7) matavimo vietose, paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais ($86 - 110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$). A11(8) LDG vertės pažemio ore 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m atstume nuo asfalto yra didesnės, nei nustatytosios vidutiniškai regione 2001 m.; 50 m atstume nuo asfalto viršija $110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ vidutiniškai 1%, 100 m atstume nuo asfalto – vidutiniškai 3,3 %. Šioje vietovėje nėra nei gyvenamųjų namų, ar kitokių statinių.

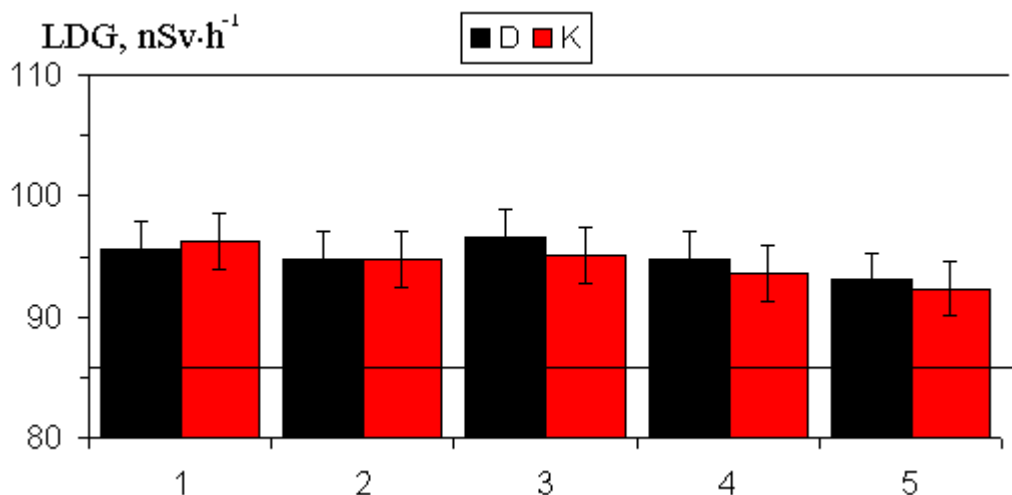
Žiemos ekspedicijos metu nustatyti lygiavertės dozės galios duomenys apibendrinti A11-3 lentelėje

A11–3 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore statistiniai duomenys

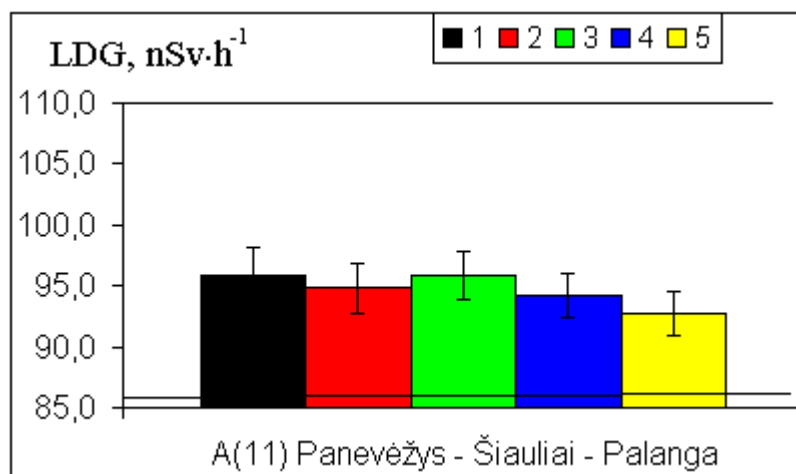
Statistinis parametras	Atstumas nuo asfalto dangos				
	7,5 m	20 m	50 m	100 m	150 m
Vidutinė vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	95,9	94,8	95,9	94,2	92,7
Mažiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	87,4	80,2	82,6	77,8	80,2
Didžiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	104,3	108,3	112,3	115,5	104,3
Mediana, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	95,9	96,3	95,1	91,8	91,4
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	0,8	1,1	1,3	1,4	1,1
Bandinių skaičius	48	48	48	48	48

Iš A11–3 lentelės duomenų matyti, kad 7,5 metrų atstume vidutinė LDG pažemio ore vertė sutampa su 50 m atstume nustatyta vidutine LDG verte - $95,9 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$. 150 m atstume vidutinė vertė pati mažiausia - $92,7 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$. Mediana, reikšmė dalijanti intervalą į dvi lygias dalis pagal verčių dydį, 7,5 m, 20 m ir 50 m atstume nuo asfalto paklaidų ribose nesiskiria, tačiau yra didesnė nei 100 ir 150 m.

Dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse išmatuotosios LDG vertė paklaidų ribose nesiskiria, tai reiškia, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys. Dešiniojoje pusėje kai kur reikšmės šiek tiek didesnės, tačiau viršutinės ribos, $110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$, nesiekia (A11-4 pav.)



A11–4 pav. Vidutinės lygiavertės dozės galios vertės abiejose magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** pusėse (2004 01 12–13): atstumas nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; D – dešinioji magistralės pusė; K – kairioji magistralės pusė; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

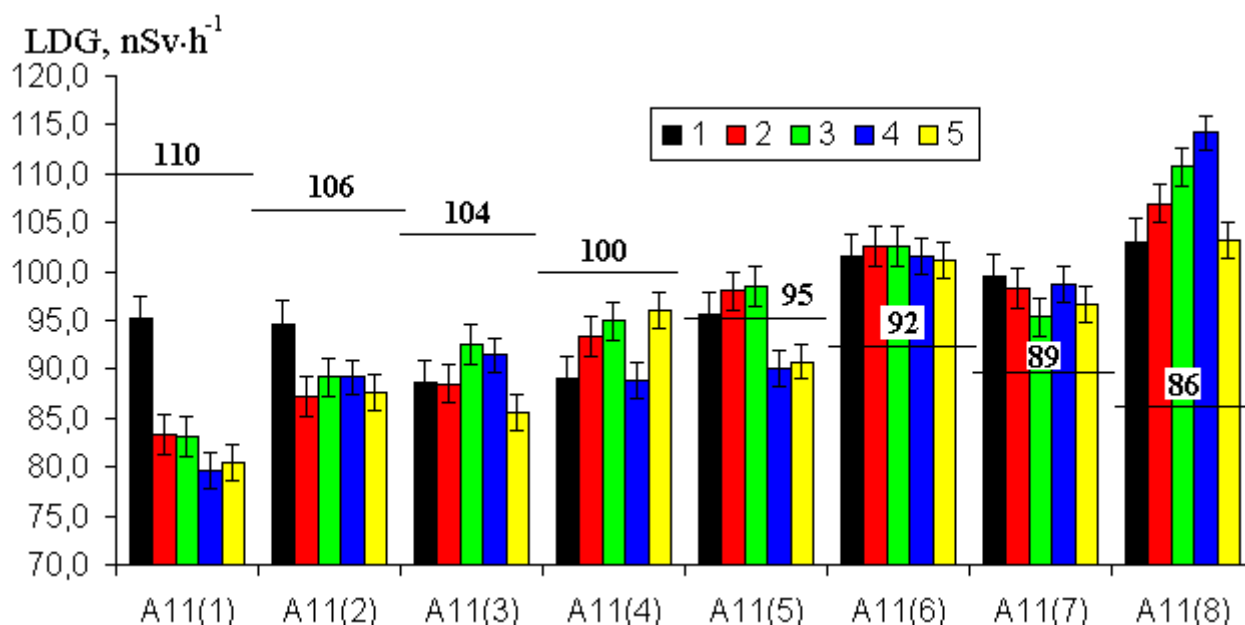


A11–5 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto)lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos. matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga**, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos, 150 m atstume yra pačios mažiausios. Vidutinės vertės, nustatytos visuose atstumuose, nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos.

Kaip matome iš A11–2 lentelės duomenų, sniego dangos storis kito nuo 11,0 iki 16,5 cm. Sniego dangos storio vidurkis visoje magistralėje 13,4 cm. Didžiausias sniego dangos storis išmatuotas A11(4) simboliu pažymėtoje vietovėje Aleksandrijos gyvenvietėje, 16,5 cm. Didelis

sniego dangos storis galėjo turėti įtakos LDG matavimams. Kaip matyti iš A11-2 ir A11-3 pav. duomenų, pirmose keturiose A11(1), A11(2), A11(3) ir A11(4) vietovėse lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore yra mažesnės, lyginant su vertėmis kitose magistralės vietose, kaip tik šiais simboliais pažymėtuose vietovėse sniego dangos storis yra didesnis, atitinkamai nuo 14 cm ir 16,5 cm. Mažesnis sniego dangos storis išmatuotas A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliu pažymėtose vietovėse, atitinkamai nuo 11 cm ir 13 cm. Čia išmatuotosios LDG vertės pažemio ore yra didesnės ir viršija 2001m. nustatytąsias tuose regionuose atitinkamas vertes. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė. Matavimus būtina atlikti vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos. Palyginus vasaros ir žiemos duomenis bus galima nustatyti dirvos paviršiniuose sluoksniuose esančių radionuklidų įtaka LDG formavimuisi.

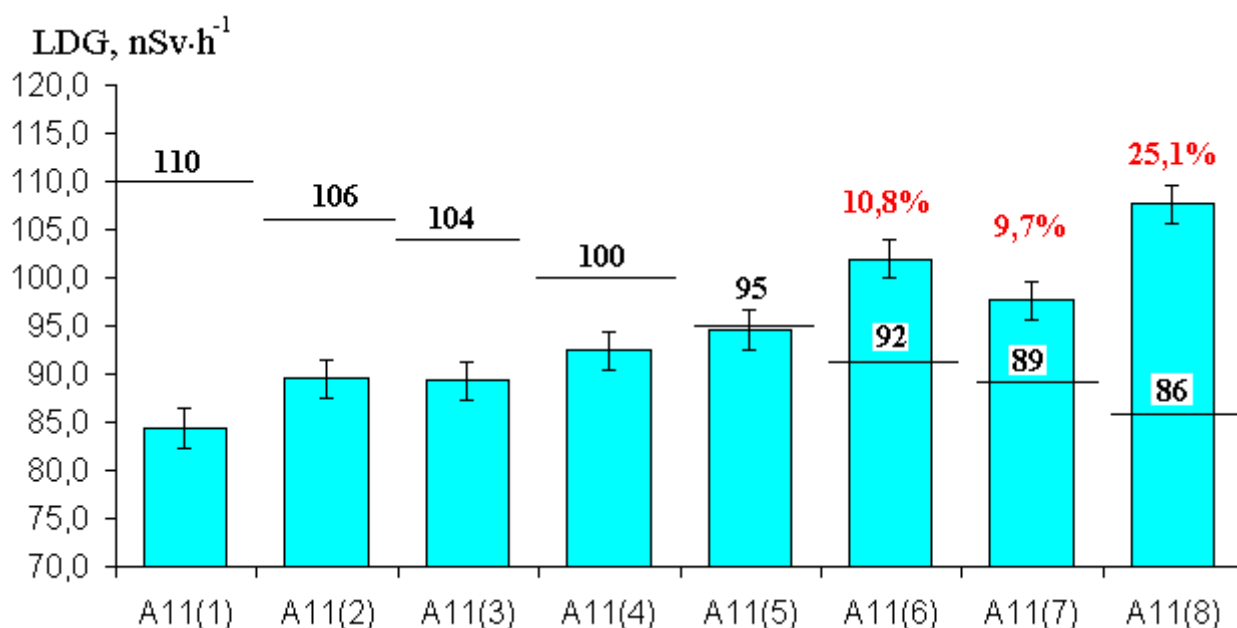


A11–6 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** : A11(1) – vietovė ir joje numatyta matavimo vieta; matavimo vietų atstumai nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes

A11-6 pav. pateikiami duomenys apie vidutinės lygiavertės dozės galios vertes ore prie žemės paviršiaus visiems vietovės ruožams, nutolusiems 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m nuo asfaltuotos kelio ribos. Šiuo atveju visų ruožų matavimų vietose gautieji rezultatai susumuoti ir apskaičiuota toje matavimo vietoje vidutinė lygiavertės dozės galia prie žemės paviršiaus. Ir šiuo būdu skaičiuojant gautųjų rezultatų tendencijos nesikeičia: didesnės negu vidutinės lygiavertės dozės galios vertės yra A11(5) (iki 50m), A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse. Lygiavertės dozės

galios vertės vidutinės (visų ruožų) pažemio ore šalia magistralės A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) matavimo vietovėse viršija tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais nustatytosios LDG pažemio ore vertės, jas ekstrapoliuojant pagal izolinijas

(A11-1 pav.) konkrečiai matavimo vietai. Taigi, išmatuotosios LDG vertės pažemio ore lyginamos ne su regiono LDG pažemio ore vertėmis, o su vertėmis pagal izolinijas (A11-1 lentelė) nustatytomis matavimo vietai. A11(8) vietovėje LDG lygiai viršija 110 nSv·h⁻¹. Čia LDG vertės pažemio ore didėja iki 100 m atstumo nuo asfalto, 150 m atstume mažesnės. Didelės 7,5 ir 20 metrų atstume nuo asfalto, A11(1) ir A11(2) simboliu pažymėtose vietovėse. A11(6) ir A11(7) vietovėse LDG vertės, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos nesiskiria paklaidų ribose.



A11-7 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje autostradoje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga**. Kiekvienai vietai nubrėžta „-“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes% rodo LDG pažemio ore perviršį, lyginant su regiono ekstrapoliuotąja verte pagal [8] darbą

A11-7 pav. pateikiami duomenys apie vidutinės lygiavertės dozės galios vertes ore prie žemės paviršiaus kiekvienai vietai. Šiuo atveju visų ruožų matavimų vietose gautieji rezultatai susumuoti nepriklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos, ir apskaičiuota toje matavimo vietoje vidutinė lygiavertės dozės galia prie žemės paviršiaus. Ir šiuo būdu skaičiuojant gautųjų rezultatų tendencijos nesikeičia: A11(5) vertės paklaidų ribose artimos vidutinėms, didesnės negu vidutinės lygiavertės dozės galios yra vertės A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse.

Matavimo regionuose 2001m. nustatytas vidutinis lygiavertės dozės galios lygis pažemio ore, kito nuo 86 iki 110 nSv·h⁻¹. Pagal izolinijas ekstrapoliuojant LDG pažemio ore vertes kiekvienai matavimo vietai, didžiausias vidutinis LDG lygis, 110 nSv·h⁻¹, nustatytas simboliu A11(1) pažymėtoje vietovėje. Šioje vietovėje, taip pat A11(2), A11(3) ir A11(4) vietovėse vidutinės nustatytosios šiame darbe (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore neviršija nustatytų 2001m. verčių. A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore viršija nustatytas 2001m vertes atitinkamai 10,8% 9,7% ir 25,1% .

3.1.7. Išvados apie žiemos ekspedicijos rezultatus

1. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m.nustatytoms tuose regionuose (86 – 110 nSv·h⁻¹).
2. A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliais pažymėtose vietovėse LDG vertės pažemio ore viršija tose vietovėse nustatytuosius LDG lygius.
3. LDG vertės pažemio ore 7,5 metrų atstume nuo asfalto daugumoje vietų yra didesnės negu išmatuotos tolesniuose atstumuose. 150 m atstume vidutinė LDG pažemio ore vertė yra pati mažiausia, 92,7 nSv · h⁻¹.
4. Visų trijų ruožų vidutinės LDG vertės pažemio ore A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse viršija regiono LDG lygius.
5. A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto LDG vertės pažemio ore viršija 2001m. nustatytas vertes (92, 89 ir 86 nSv·h⁻¹), atitinkamai 10,8% 9,7% ir 25,1% .

Rekomendacijos

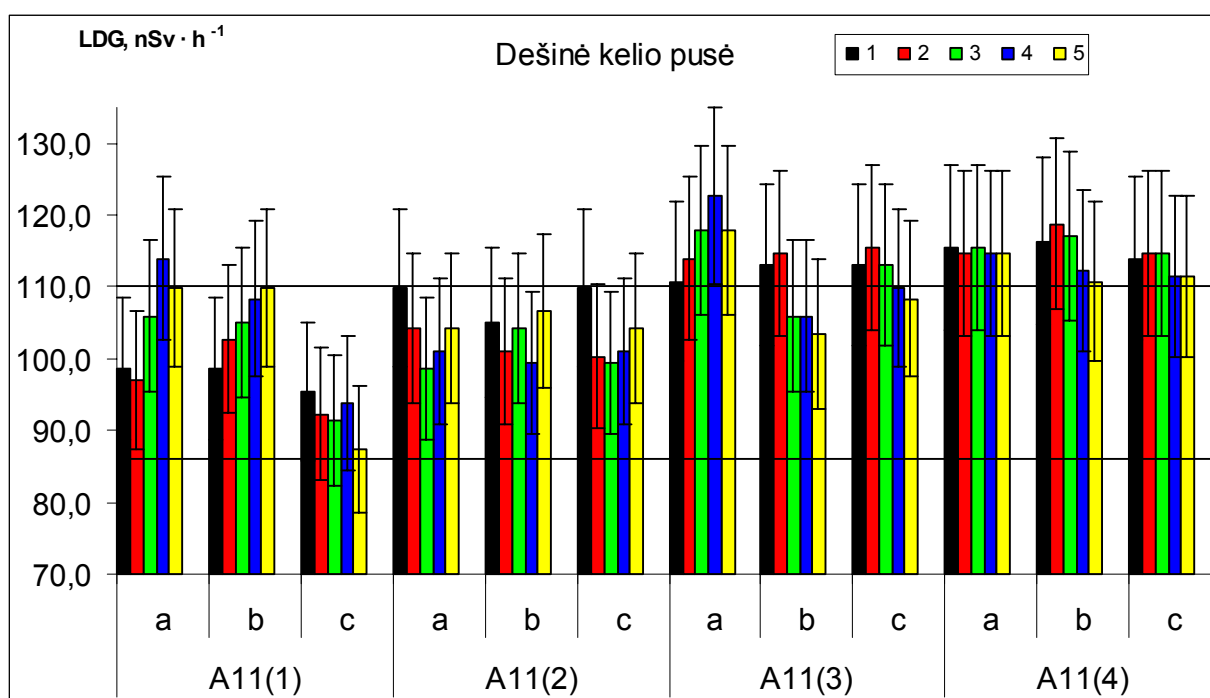
1. Matavimus būtina atlikti vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos. Palyginus vasaros ir žiemos ekspedicijų duomenis galima įvertinti dirvos paviršiniuose sluoksniuose esančių radionuklidų įtaka LDG formavimuisi.

3.1.8. Vasaros ekspedicija magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga

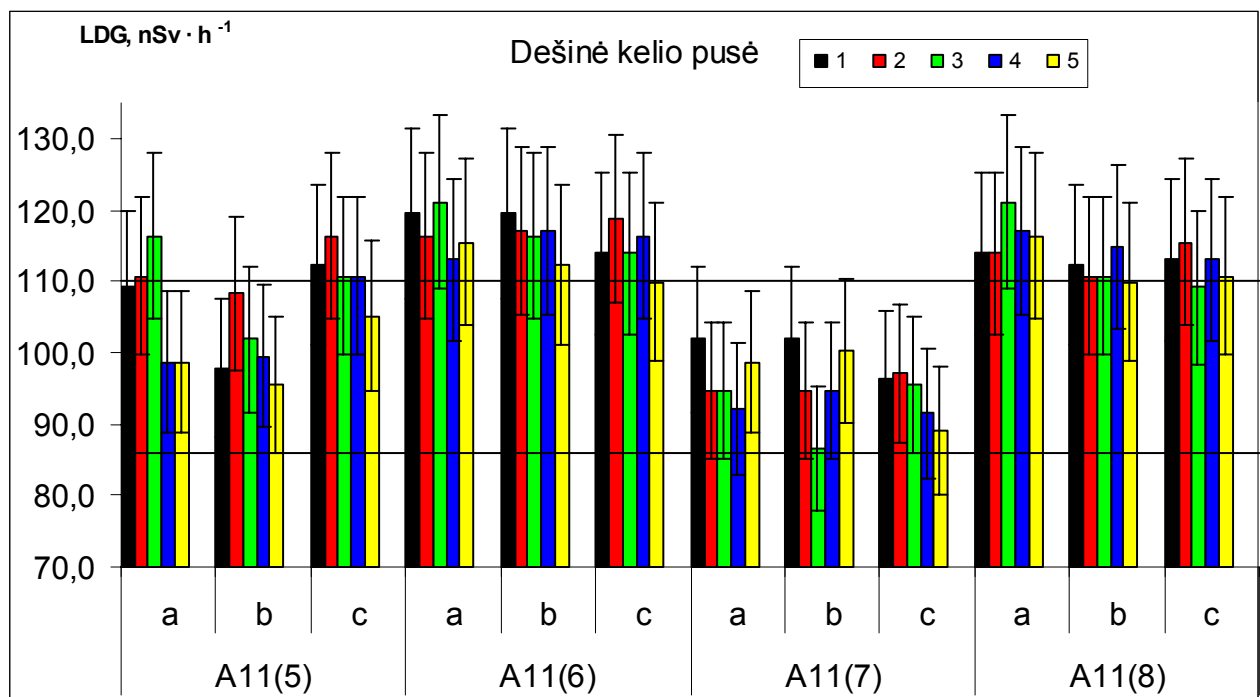
Ekspedicija vyko **2004 m. birželio 9-10 d.** vasaros sąlygomis. Ekspedicijos metu vyravusios meteorologinės sąlygos **birželio 9** dieną buvo: oro temperatūra apie $+19^{\circ}\text{C}$ Panevėžyje, $+18^{\circ}\text{C}$ Šiauliuose. Vėjo kryptis pietvakarių, vėjo greitis Panevėžyje 6,2 m/s, Šiauliuose 8,0 m/s. Santykinė oro drėgmė 87 %, atmosferos slėgis 100,5 kPa. **Birželio 10** dieną: oro temperatūra Palangoje buvo apie $+18^{\circ}\text{C}$. Vėjo kryptis vakarų, vėjo greitis 10,0 m/s, santykinė oro drėgmė 85 %, atmosferos slėgis 100,4 kPa.

LDG vertės pažemio ore šiame regione, nustatytos 2001 m. yra 86 – 110 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ [8].

LDG pažemio ore matavimo rezultatai



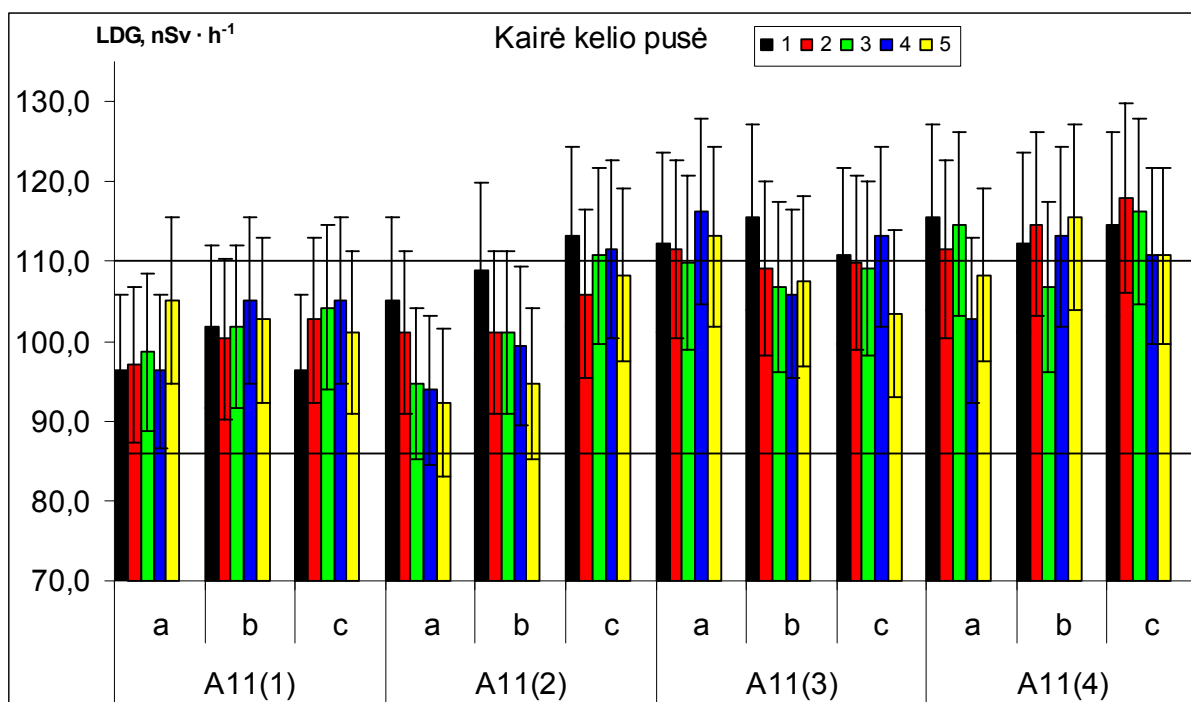
A11-8a pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (dešinioji magistralės pusė, 2004 06 9–10): A11(1)-A11(4) – vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001 m. nustatytą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore ($86 - 110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$)



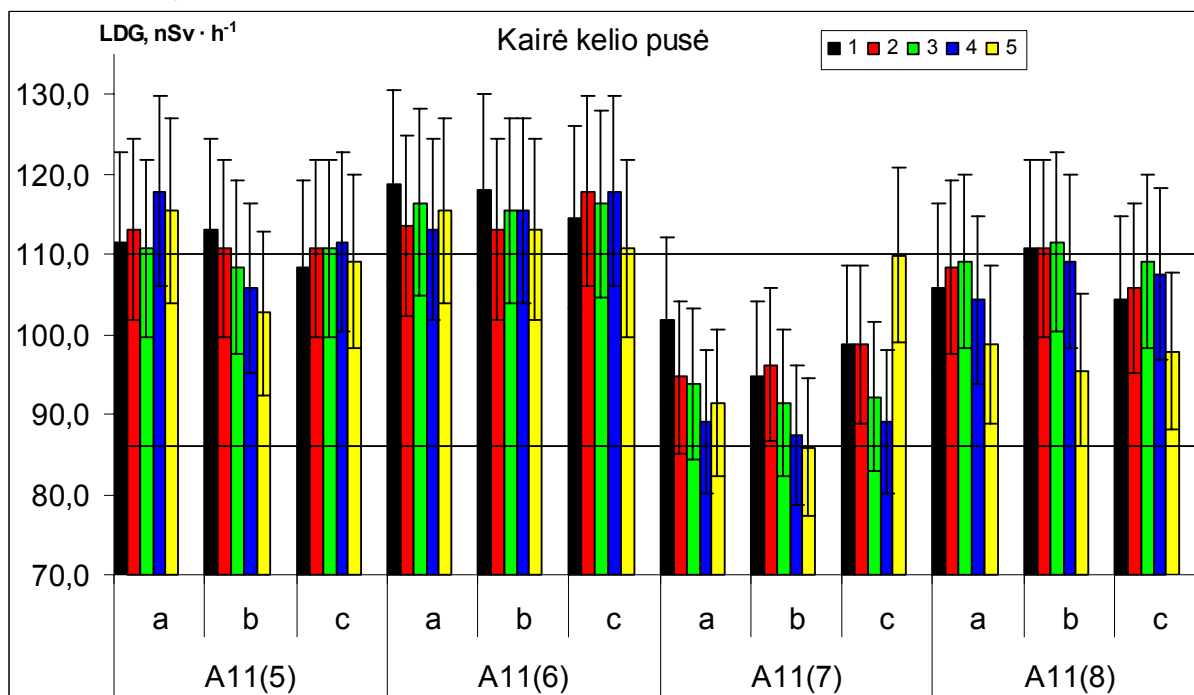
A11-8b pav. Lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (dešinioji magistralės pusė, 2004 06 9–10): A11(5)–A11(8) vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „—” – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001 m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore šalia magistralės dešinėje pusėje A11(1), A11(2) ir A11(7) matavimo vietose yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais (86 – 110 nSv·h⁻¹). A11(1) a ruožo, A11(3) a ruožo 100 m atstume nuo asfalto, bei A11(1) ir A11(6) vietovėse 7,5 m atstume nuo asfalto nustatytos vertės didesnės, nei gretimose vietose. Gal tokias vertes lemia radionuklidai esantys grunte.

Būtina nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą dirvožemyje. A11(5) 100 m ir 150 m atstume LDG vertės pažemio ore gerokai mažesnės už artimesnėse vietose nustatytas vertes. Tikrai A11(3) A11(4) A11(6) A11(8) vietovėse 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m atstume nuo asfalto šios vertės viršija regione nustatytąsias vertes: 50 m atstume nuo asfalto viršija 110 nSv·h⁻¹ vidutiniškai 4%, 100 m atstume nuo asfalto – vidutiniškai 1 %. Tose pačiose vietovėse, bet kairiojoje magistralės pusėje išmatuotųjų lygiavertės dozės galios prie žemės paviršiaus vertės pateiktos A11-9 pav.



A11–9a pav. LDG vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 06 9–10): A11(1)–A11(4) vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)



A11–9b pav. LDG vertės šalia magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** (kairiojoje magistralės pusėje, 2004 06 9–10): A11(5)–A11(8) vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Kairiojoje pusėje išmatuotos LDG vertės pažemio ore išsidėsčiusios panašiai, kaip ir dešiniojoje pusėje, yra paklaidų ribose artimos vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais ($86 - 110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$). A11(2), A11(3) A11(6) ir A11(7) simboliu pažymėtose vietovėse 7,5 m atstume nuo asfalto vertės 5,5% skiriasi nuo tolesnėse vietose nustatytų verčių. A11(1) ir A11(2) vietovėse LDG vertės pažemio ore yra mažiausios visoje magistralėje. Vasaros ekspedicijos metu nustatytieji lygiavertės dozės galios duomenys apibendrinti A11-4 lentelėje

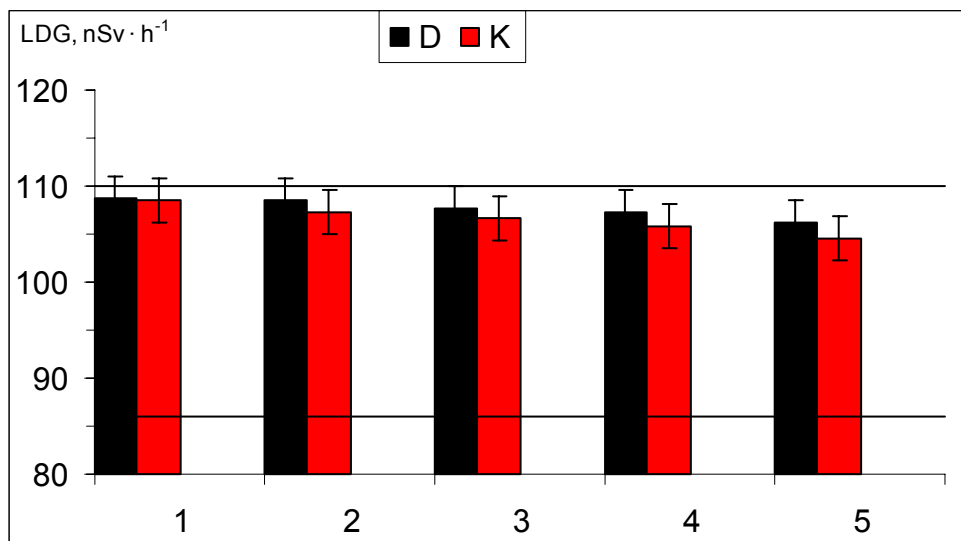
A11–4 lentelė. Vasaros ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore statistiniai duomenys

Statistinis parametras	Atstumas nuo asfalto dangos				
	7,5 m	20 m	50 m	100 m	150 m
Vidutinė vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	108,6	107,9	107,2	106,6	105,4
Mažiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	94,7	92,2	86,6	87,4	85,8
Didžiausioji vertė, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	119,5	118,7	121,1	122,7	117,9
Mediana, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	110,7	110,7	109,1	108,7	107,9
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$	0,8	1,1	1,3	1,4	1,1
Bandinių skaičius	48	48	48	48	48

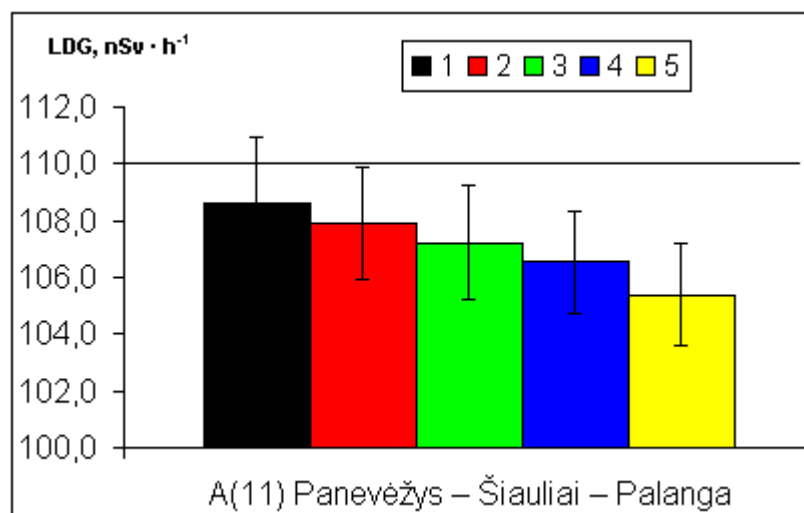
Iš A11–4. lentelės duomenų matyti, kad 7,5 metrų atstume vidutinė LDG pažemio ore vertė didžiausia. 150 m atstume vidutinė vertė pati mažiausia – $105,4 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$. Mediana, reikšmė dalijanti intervalą į dvi lygias dalis pagal verčių dydį, 7,5 m, 20 m ir 50 m atstume nuo asfalto paklaidų ribose nesiskiria, tačiau yra didesnė nei 100 ir 150 m.

Dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse išmatuotosios LDG vertė paklaidų ribose nesiskiria, tai reiškia, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys. Dešiniojoje pusėje kai kur reikšmės šiek tiek didesnės, tačiau viršutinės ribos, $110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$, nesiekia. Vidutinių lygiavertės dozės galios pažemio ore verčių dešiniojoje ir kairiojoje magistralės Panevėžys – Šiauliai – Palanga pusėse pasiskirstymo duomenys pateikti A11-10 pav.

A11–11 pav. pateikiamos vidutinės visoms matavimo vietoms, pagal atstumą nuo asfalto, lygiavertės dozės galios pažemio ore vertės magistralėje A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos.

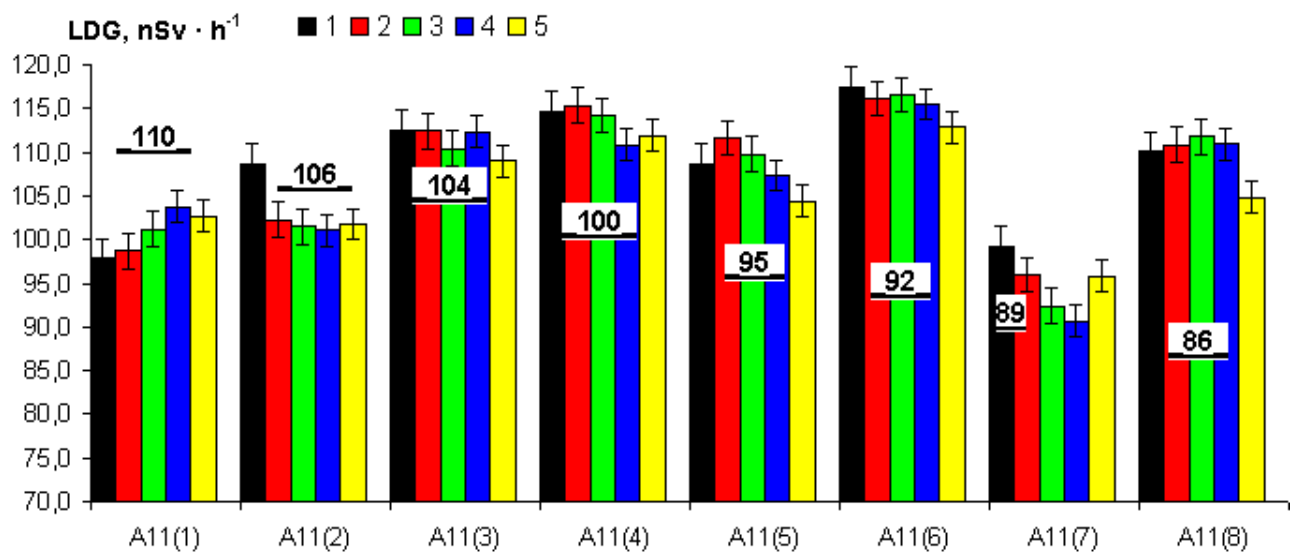


A11–10 pav. Vidutinės lygiavertės dozės galios vertės abiejose magistralės **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** pusėse (2004 06 9–10): atstumas nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; D – dešinioji magistralės pusė; K – kairioji magistralės pusė; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)



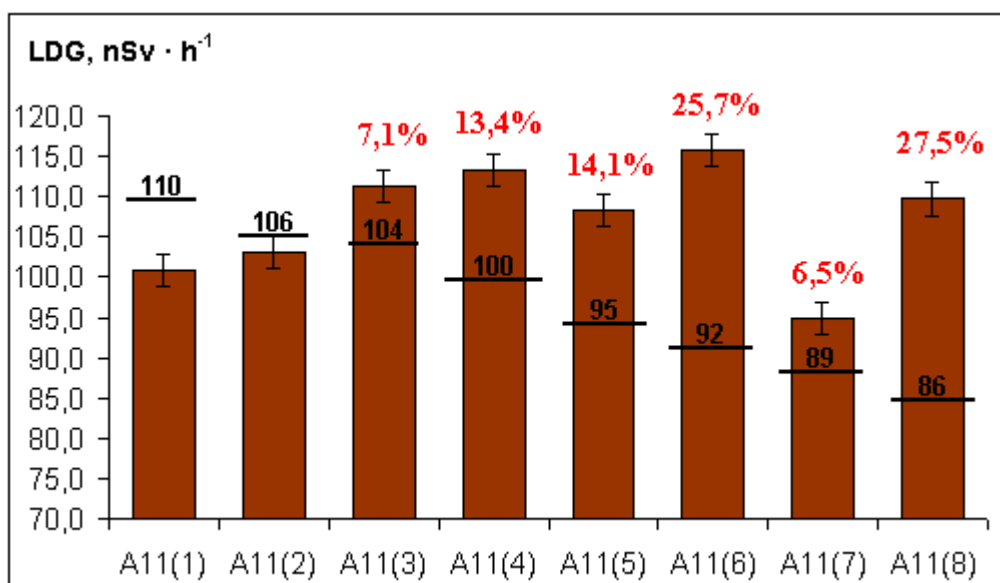
A11–11 pav. Vidutinės visoms matavimo vietoms (pagal atstumą nuo asfalto)lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** , priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos. matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** , priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos, 150 m atstume yra pačios mažiausios. Vidutinės vertės, nustatytos visuose atstumuose, nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos.



A11–12 pav. Vidutinės (visų ruožų) lygiavertės dozės galios vertės šalia magistralės A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** : A11(1) – vietovė ir joje numatyta matavimo vieta; matavimo vietų atstumai nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes

A11-12 pav. pateikiami duomenys apie vidutinės lygiavertės dozės galios vertes ore prie žemės paviršiaus visiems vietovės ruožams, nutolusiems 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m nuo asfaltuotos kelio ribos. Šiuo atveju visų ruožų matavimų vietose gautieji rezultatai susumuoti ir apskaičiuota toje matavimo vietoje vidutinė lygiavertės dozės galia prie žemės paviršiaus. Ir šiuo būdu skaičiuojant gautųjų rezultatų tendencijos nesikeičia: didesnės negu vidutinės lygiavertės dozės galios vertės yra A11(3), A11(4), A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse. Lygiavertės dozės galios vertės vidutinės (visų ruožų) pažemio ore šalia magistralės šiose matavimo vietovėse viršija tuose regionuose Lietuvoje 2001 metais nustatytosios LDG pažemio ore vertes, jas ekstrapoliuojant pagal izolinijas (A11-1 pav.) konkrečiai matavimo vietai. Taigi, išmatuotosios LDG vertės pažemio ore lyginamos ne su regiono LDG pažemio ore vertėmis, o su vertėmis pagal izolinijas (A11-1 lentelė) nustatytomis matavimo vietai. A11(3), A11(4), ir A11(6) vietovėse LDG lygiai viršija 110 nSv·h⁻¹ atitinkamai 1% 3% 6%.

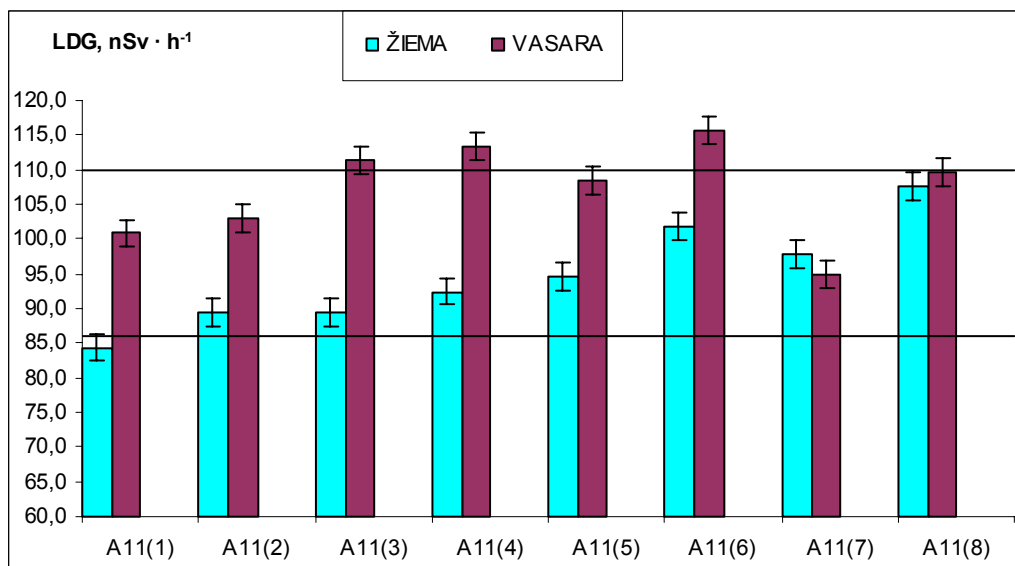


A11–13 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės visoje autostradoje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** . Kiekvienai vietai nubrėžta „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes. % rodo LDG pažemio ore perviršį, lyginant su regiono ekstrapoliuotąja verte pagal [8] darbą

A11-13 pav. pateikiami duomenys apie vidutines lygiavertės dozės galios vertes ore prie žemės paviršiaus kiekvienai vietai. Šiuo atveju visų ruožų matavimų vietose gautieji rezultatai susumuoti nepriklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos, ir apskaičiuota toje matavimo vietoje vidutinė lygiavertės dozės galia prie žemės paviršiaus. Ir šiuo būdu skaičiuojant gautųjų rezultatų tendencijos nesikeičia: didesnės negu vidutinės lygiavertės dozės galios vertės yra A11(3), A11(4), A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse.

Matavimo regionuose 2001m. nustatytas vidutinis lygiavertės dozės galios lygis pažemio ore, kito nuo 86 iki 110 nSv·h⁻¹. Pagal izolinijas ekstrapoliuojant LDG pažemio ore vertes kiekvienai matavimo vietai, didžiausias vidutinis LDG lygis, 110 nSv·h⁻¹, nustatytas simboliu A11(1) pažymėtoje vietovėje. Šioje vietovėje, taip pat A11(2) vietovėje vidutinės nustatytosios šiame darbe (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore neviršija nustatytų 2001m. verčių. A11(3), A11(4), A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore viršija nustatytas 2001m vertes atitinkamai 7,1% 13,4%, 14,1%, 25,7%, 6,5%, 27,5%.

Apibendrinimui pateikiami duomenys, kurie atspindi LDG pažemio ore verčių kaitą, šalia magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga, priklausomai nuo metų laiko (A11-14 pav.)



A11-14 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės žiemą ir vasarą visoje magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai – Palanga** . Kiekvienai vietai nubrėžta ; „–” – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (86 – 110 nSv·h⁻¹)

A11-14 pav. palygintos LDG pažemio ore vertės žiemą ir vasarą. Iš A11 – 14 pav. matyti, kad A11 magistralės matavimo vietovėse, LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemos metu. A11(7) vietovėje žiemos ir vasaros LDG pažemio ore vertės paklaidų ribose nesiskiria. Vasarą LDG pažemio ore vertės vidutiniškai 13% didesnės negu žiemą.

3.1.9. Išvados apie vasaros ekspedicijos rezultatus

1. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m.nustatytoms tuose regionuose (86 – 110 nSv·h⁻¹).
2. LDG vertės pažemio ore 7,5 metrų atstume nuo asfalto daugumoje vietų yra didesnės negu išmatuotos tolesniuose atstumuose. 150 m atstume vidutinė LDG pažemio ore vertė yra pati mažiausia, 92,7 nSv · h⁻¹.
3. Visų trijų ruožų vidutinės LDG vertės pažemio ore A11(3), A11(4), A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) vietovėse viršija regiono LDG lygius. A11(3), A11(4), ir A11(6) vietovėse LDG lygiai viršija 110 nSv·h⁻¹ atitinkamai 1% 3% 6%.

4. A11(3), A11(4), A11(5), A11(6), A11(7) ir A11(8) simboliu pažymėtose vietovėse vidutinės (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG vertės pažemio ore viršija nustatytas 2001m vertes atitinkamai 7,1% 13,4%, 14,1%, 25,7%, 6,5%, 27,5%.

Tose vietose, kuriose lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore buvo didesnės negu kitose magistralės vietovėse, paimti ir radiometriškai ištirti dirvožemio bandiniai. Radionuklidų savitojo aktyvumo dirvožemyje vertės surašytos A11-5 lentelėje.

A11-5 lentelė. Radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje šalia magistralės A11, $Bq \cdot kg^{-1}$

Matavimo vieta ir atstumas nuo asfalto	Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	^{226}Ra	^{208}Tl	^{137}Cs	^{228}Ac	^{40}K
A11(8), 7,5 m	0-3	$20,1 \pm 0,8$	$10,3 \pm 0,5$	$9,3 \pm 0,7$	$36,4 \pm 2,5$	490 ± 5
	3-6	$23,1 \pm 1,1$	$10,5 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,6$	$38,3 \pm 2,6$	574 ± 6
	6-9	$26,2 \pm 3,8$	$11,7 \pm 1,6$	$11,3 \pm 2,1$	$31,9 \pm 6,7$	532 ± 18
	9-12	$18,8 \pm 2,1$	$9,7 \pm 1,3$	$8,7 \pm 1,6$	$22,3 \pm 4,6$	541 ± 19
	12-15	$19,7 \pm 2$	$9,1 \pm 0,8$	$5,0 \pm 0,7$	$23,2 \pm 2,7$	563 ± 13
	15-20	$42,5 \pm 4,7$	$13,1 \pm 1,8$	$8,8 \pm 1,6$	$8,3 \pm 2,2$	593 ± 21
A11(8), 20 m	0-5	$28,1 \pm 3,4$	$9,1 \pm 1,3$	$9,0 \pm 1,7$	$33,0 \pm 6,1$	551 ± 19

A11-5 lentelėje pateikti radionuklidų savitųjų aktyvumų dydžiai įvertinti lyginant juos su vidutinėmis vertėmis, nustatytomis visoje Lietuvos teritorijoje. Šitie duomenys surašyti A11-6 lentelėje.

A11-6 lentelė. Radiometrinių duomenų grunte palyginimas

Radionuklidas	Lietuvoje, $Bq \cdot kg^{-1}$	Šalia A11(8), $Bq \cdot kg^{-1}$
^{226}Ra	$11,0 \pm 11,0$	26 ± 3
^{208}Tl	$6,0 \pm 8,0$	11 ± 1
^{228}Ac		28 ± 4
^{40}K	540 ± 360	549 ± 13
^{137}Cs	22 ± 20	9 ± 1

3.1.10. Bendrosios išvados apie LDG pažemio ore kaitą šalia magistralės A11

1. A11 magistralės matavimo vietovėse, LDG pažemio ore vertės vasarą gautos vidutiniškai 13% didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ^{222}Rn ekshaliaciją iš grunto ir tuo pačiu sumažino ore LDG vertes. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė ir žiemos metu arti magistralės matavimo vietose nebuvo lokalių radioaktyviosiomis medžiagomis taršos šaltinių.
2. Didžiausi LDG pažemio ore verčių skirtumai tarp matavimų 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, ne kitose matavimo vietovėse šioje magistralėje, galima teigti, kad žiemą sniego dangą susilpnino jonizuojančiosios spinduliuotės sklaidimą iš grunto.
3. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose vasarą yra paklaidų ribose yra artimesnės vidutinėms vertėms, 2001m. nustatytoms tuose regionuose atitinkamai 86 – 110 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ A11 magistralei, negu žiemą.
4. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos. Žiemą 1 %, vasarą 2%.
5. Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėse, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja tiek žiemą tiek vasarą. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės 110 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ ribos. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.
6. Radionuklidų ^{226}Ra , ^{208}Tl ir ^{40}K savitieji aktyvumai grunte, šalia A11(8) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ^{226}Ra apie 136%, ^{208}Tl apie 83% ir ^{40}K apie 2%. Tai rodo grunto sudėties savitumą šiame regione. Tai galėjo turėti įtakos LDG pažemio ore padidėjimui.

3.1.11. Nustatytųjų LDG verčių pažemio ore, šalia Lietuvos magistralių, palyginimas

Atrinktos penkios matavimo vietos, šalia Lietuvos magistralių, kuriose nustatytos LDG pažemio ore vertės didesnės, negu kitose magistralių vietose.

Šiame darbe nustatytosios LDG pažemio ore vertės yra lyginamos su vertėmis, Fizikos instituto darbuotojų nustatytomis 2001 m. regione ir ekstrapolijuojant matavimo vietai pagal izolinijas (A-1.9.1 lentelė).

Matavimo vietos magistralėse

A1(7) simboliu pažymėtoji vietovė yra Vilnius – Kaunas – Klaipėda magistralėje A1; Kauno apskrityje, ties Sargėnais, 102 km nuo Vilniaus.

A16(6) simboliu pažymėtoji vietovė yra Vilnius – Prienai – Marijampolė magistralėje A16; Kauno apskrityje, ties Iglauka, 117 km nuo Vilniaus.

A7(1) simboliu pažymėtoji vietovė yra Marijampolė – Kybartai magistralėje A7; ties Gižais, 149 km nuo Vilniaus.

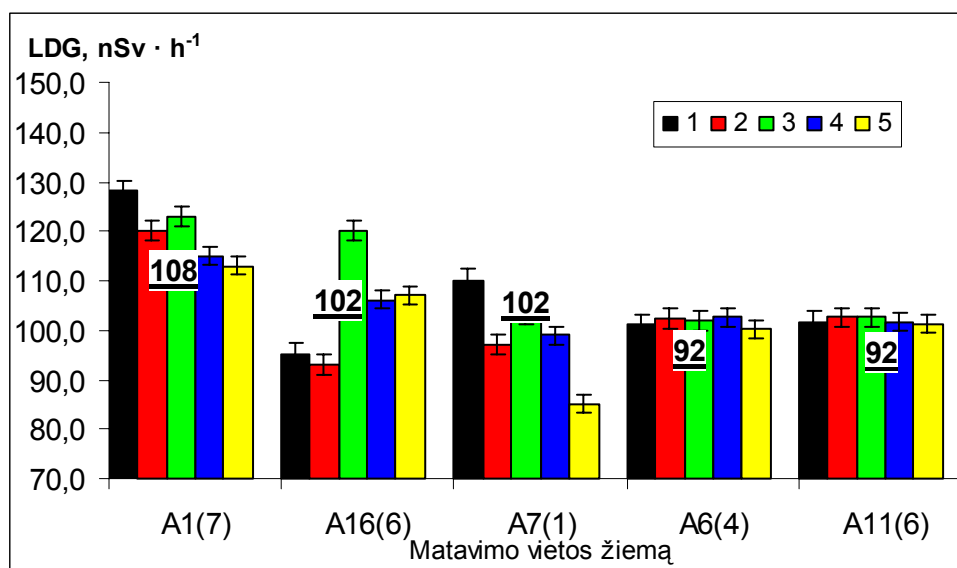
A6(6) simboliu pažymėtoji vietovė yra Kaunas – Zarasai magistralėje A6; Išvažiavus iš Utenos, 125 km nuo Kauno.

A11(6) simboliu pažymėtoji vietovė yra Panevėžys – Šiauliai – Palanga magistralėje A11; Prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje, 102 km nuo Vilniaus.

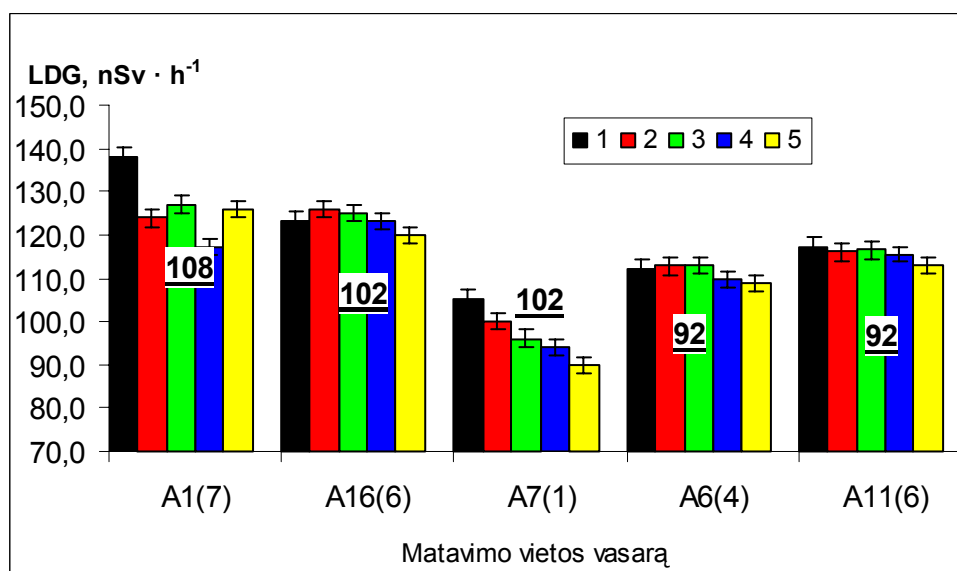
A–1 lentelė. LDG pažemio ore vertės magistralių matavimo vietovėse, pagal 2001m. matavimo rezultatus, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$

Magistralė	A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda	A16 Vilnius – Prienai – Marijampolė	A7 Marijampolė – Kybartai	A6 Kaunas – Zarasai	A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga
Matavimo vietovė	A1(7)	A16(6)	A7(1)	A6(4)	A11(6)
LDG vertės, nustatytos 2001m. $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	108	102	102	92	92

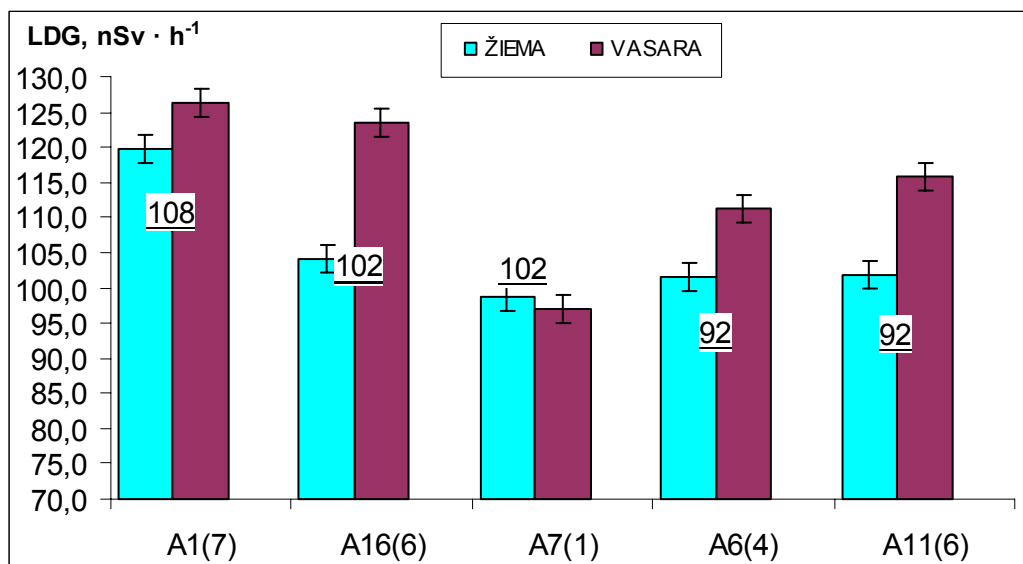
LDG pažemio ore matavimo rezultatų palyginimas



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



A2 pav. Vidutinės (visų ruožų) LDG pažemio ore vertės šalia magistralių vasarą: A1(7) – vietovių žymėjimas; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m. „–“ – linija, reiškianti ekstrapoliuotą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore, pagal matavimo regionuose 2001m. nustatytąsias vertes



A3 pav. Vidutinės kiekvienai vietai (pagal ruožus ir atstumą nuo asfalto) LDG pažemio ore vertės žiemą ir vasarą magistralėse. Kiekvienai vietai nubrėžta „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore

A–2 lentelė. 2001m. nustatytųjų LDG verčių pažemio ore viršijimas vietovėse

Magistralė	A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda	A16 Vilnius – Prienai – Marijampolė	A7 Marijampolė – Kybartai	A6 Kaunas – Zarasai	A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga
Matavimo vietovė	A1(7)	A16(6)	A7(1)	A6(4)	A11(6)
Viršijimas, %, 2001m. nustatytųjų LDG pažemio ore verčių žiemą	10,9	2,2	-----	10,5	10,8
Viršijimas, %, 2001m. nustatytųjų LDG pažemio ore verčių vasarą	17,0	21,0	-----	21,0	25,7
Vidutinis viršijimas, %	14,0	11,6	-----	15,7	18,3

3.1.12. Išvados

1. Vilnius – Kaunas – Klaipėda magistralės A7(1) ir Marijampolė – Kybartai magistralės A1(7) simboliu pažymėtose vietovėse didžiausios LDG pažemio ore vertės nustatytos 7,5 metrų atstume nuo kelio tiek žiemą, tiek vasarą. Žiemą 7,5 atstume nuo kelio, LDG vertės pažemio ore A7(1) 11% ir A1(7) 22% didesnės už tolesniuose atstumuose gautų verčių vidurkį. Vasarą didesnės atitinkamai 14% ir 18%. Likusiose vietovėse verčių skirtumas tostant nuo asfalto nėra toks didelis.
2. Magistralėje Vilnius – Kaunas – Palanga, A7(1) vietovėje nustatytos LDG vertės pažemio ore yra didžiausios lyginant su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat didelės vertės A16(6) vietovėje; jos apie 10% didesnės, nei A7(1), A6(4) ir A11(6) nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtos vietovės yra Kauno rajone.
3. 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%.
4. Visose nagrinėtose vietovėse, išskyrus A7(1), LDG vertės pažemio ore viršija regionuose 2001m. nustatytąsias vertes.
5. Vasarą 2001 m. nustatytus vidutinius LDG lygius pažemio ore konkrečioms vietovėms, daugiausia viršija A1(7) vietovėje 10,9 % ir A11(6) 10,8 %.
6. Žiemą daugiausia viršijami vidutiniai LDG lygiai pažemio ore A11(6) simboliu pažymėtoje vietovėje 25,7 % , o A1(7) vietovėje – mažiausiai 17,0 %.
7. A11(6) simboliu pažymėtoji vietovėje, prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje nustatytos LDG vertės pažemio ore vidutiniškai 18,3 % viršija regione nustatytą lygį ($92 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$).

3.2. RADIOMETRINIŲ TYRIMŲ ANALIZĖ

3.2.1. Radionuklidų aktyvumo rodiklis statybinėse medžiagose

Radiacinės saugos centras atlieka radiologinius statybinių medžiagų tyrimus. Tiriamos įvairios medžiagos, 3.1. ir 3.2. lentelėse pateikiama statybinių medžiagų, kurios naudojamos kelio tiesimui analizė. Remiantis anksčiau atliktais tyrimais Radiacinės saugos centre, pateikti **aktyvumo rodiklio** skaičiavimai, pagal savituosius radionuklidų aktyvumus. Skaičiavimai atlikti naudojantis 2.3 formule.

3.1 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai statybinėse medžiagose

Statybinės medžiagos pavadinimas	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹						Aktyvumo rodiklis
	²²⁶ Ra	Paklaida, Bq·kg ⁻¹	²³² Th	Paklaida, Bq·kg ⁻¹	⁴⁰ K	Paklaida, Bq·kg ⁻¹	<1
Smėlis	6	1	61	5	450	45	0,47
Smėlis	12	2	64	5	371	33	0,48
Žvyras	18	5	18	2	446	40	0,30
Betoniniai aplinkos tvarkymo gaminiai	37	10	15	2	524	49	0,37
Betoniniai vejos ir gatvių bordiūrų elementai	35	9	13	2	412	40	0,32
Granito skalda fr. 5/8	15	2	7	0,5	360	36	0,21
Granito skalda fr. 8/11	8	1	5	0,2	220	22	0,13
Granito skaldelė fr. 11/16, 8/11, 5/8, 2/5	24	5	12,9	0,8	392	36	0,28
Granito skalda fr. 20/40	12	2	14	0,8	579	50	0,30

Statybinės medžiagos ir statybos produktai, atitinkantys 1 punkto reikalavimus $I < 1$, yra pirmos klasės, juos galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

3. 2 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai granitinėje skaldoje

Tyrimo metai	Statybinės medžiagos pavadinimas	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹			Aktyvumo rodiklis I
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
1995	Granitinė skalda	26	50	1450	0,82
1995	Granitinė skalda	43	77	1380	0,99
1995	Granitinė skalda	30	60	1320	0,84
1999	Granitinė skalda	51	62	1280	0,91
2000	Granitinė skalda	26	15	739	0,40
2000	Granitinė skalda	40	25	891	0,55
2000	Granitinė skalda	66	40	1160	0,81
2000	Granitinė skalda	48	23	927	0,59
2000	Granitinė skalda	5,0	2,9	1310	0,47
2000	Granitinė skalda	46	19	784	0,51
2000	Granitinė skalda	29	20	840	0,47
2000	Granitinė skalda	45	13	881	0,51
2000	Granitinė skalda	41	22	871	0,53
2001	Granitinė skalda	32	16,8	679	0,42
2001	Granitinė skalda	29	20	865	0,48
2001	Granitas	36	19	818	0,49
2001	Granitas	8	17	280	0,21
2002	Granito skalda	11	21	651	0,36

Granitinė skalda, atitinka 1 punkto reikalavimus $I < 1$, yra pirmos klasės, ją galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

3.2.2. Radionuklidų aktyvumo rodiklio nustatymas asfalto bandiniuose

Tiriamo asfalto bandiniai yra dviejų tipų: granito skaldelės tipai - 11 frakcijos ir 16 frakcijos. Asfalto bandiniai tirti gama spektrometru, nustatant juose esančių radionuklidų savituosius aktyvumus.

3.3 lentelė. Radionuklidų savitasis aktyvumas asfalto mėginiuose, $Bq \cdot kg^{-1}$

Eil. Nr.	Statybinės medžiagos pavadinimas	Granito skaldelės tipas	Mėginio masė, kg	Matavimo trukmė, s	^{226}Pb	^{228}Bi	^{226}Ra	^{208}Tl	^{40}K	^{234}Th	^{228}Ac
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Asfaltas	fr. 11	0,527	41368	18±2	22,5±2	32,5±16,4	6,23±9,1	542±7,2	41,3±26,5	21,7±7,4
2	Asfaltas	fr. 11	0,467	18226	15,9±2	18,9±2	30,9±21,5	5,63±10,5	560±7,4	32,4±35,2	20,5±8,5
3	Asfaltas	fr. 16	0,462	20445	16,7±2	19±2	38,9±18,0	5,58±10,8	775±7,3	30,8±35,6	17,4±9,1
4	Asfaltas	fr. 16	0,429	68252	21,3±2	24,7±2	43,6±15,1	6,29±8,7	777±7,2	39,6±26,7	19±7,4

3.3. lentelės tęsinys. Radionuklidų savitasis aktyvumas asfalto mėginiuose, $Bq \cdot kg^{-1}$

Eil. Nr.	^{226}Ra savitasis pusiausvyrinis aktyvumas $\frac{^{226}\text{Pb} + ^{228}\text{Bi} + ^{226}\text{Ra}}{3}$	^{232}Th savitasis aktyvumas $1,6 \cdot ^{208}\text{Tl}$
1	13	14
1	24,3±6,8	9,97±14,6
2	21,9±8,5	9,01±16,8
3	24,9±7,3	8,93±17,3
4	29,9±6,4	10,06±13,9

3.4 lentelė. Radionuklidų aktyvumo rodikliai asfalto mėginiuose

Eil. Nr.	Statybinės medžiagos pavadinimas	Granito skaldelės tipas	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹			Aktyvumo rodiklis I
			²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
1	Asfaltas	fr. 11	24,3±6,8	9,97±14,6	542±7,2	0,31
2	Asfaltas	fr. 11	21,9±8,5	9,01 ±16,8	560±7,4	0,30
3	Asfaltas	fr. 16	24,9±7,3	8,93±17,3	775±7,3	0,39
4	Asfaltas	fr. 16	29,9±6,4	10,06±13,9	777±7,2	0,41

3.5 lentelė. Radiometrinų duomenų dirvožemyje ir asfalto mėginiuose palyginimas

Radionuklidas	Dirvožemio vidutinis savitasis aktyvumas Lietuvoje, Bq·kg ⁻¹	Asfalto mėginiuose savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹			
		1	2	3	4
²²⁶ Ra	11,0 ±11,0	24,3±6,8	21,9±8,5	24,9±7,3	29,9±6,4
²⁰⁸ Tl	6,0 ± 8,0	6,23±9,1	5,63±10,5	5,58±10,8	6,29±8,7
⁴⁰ K	540 ± 360	542±7,2	560±7,4	775±7,3	777±7,2

Pastebėta, kad pilnos pusiausvyros tarp ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi nėra, todėl ^{226}Ra pusiausvyrinis savitasis aktyvumas skaičiuojamas kaip ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi vidurkis. Taip pat nėra pusiausvyros tarp ^{232}Th ir jo skilimo produkto ^{208}Tl savitojo aktyvumo. Jų savitojo aktyvumo santykis priimamas lygus 1,6. [8]

3.2.3. Išvados

1. Aktyvumo rodikliai I asfalto mėginiuose mažesni už vienetą. Remiantis HN 85 2003, statybinės medžiagos ir statybos produktai, atitinkantys 1 punkto reikalavimus $I < 1$, yra pirmos klasės, juos galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

2. Asfalto bandiniuose su 16 frakcijos skaldele aktyvumo rodikliai apie 33% didesni už aktyvumo rodiklius, asfalte su 11 frakcijos skaldele.

3. Išmatuotieji savitieji aktyvumai asfalto bandiniuose rodo, kad ^{226}Ra savitasis aktyvumas 130% didesnis, negu dirvožemio vidutinis savitasis aktyvumas. ^{40}K savitasis aktyvumas nustatytasis aktyvumas dviejuose iš keturių mėginių apie 43% didesnis, negu dirvožemio vidutinis savitasis aktyvumas.

3.3. MODELIAVIMO REZULTATAI

3.3.1. LDG pažemio ore nuo asfalto dangos modeliavimo rezultatai

Modeliuojama radionuklidų, esančių kelio tiesimo dangoje formuojamos LDG pažemio ore, įtaka pakelės zonai. Kaip žinia, dozės galia atvirkščiai proporcinga atstumo iki šaltinio kvadratu. Tai reiškia, kad dozės galia mažėja, didėjant atstumui. Šio modeliavimo tikslas nustatyti ar magistralinio kelio danga gali būti laikoma papildomu apšvitos šaltiniu pakelės zonoje 7,5m atstume nuo dangos.

Modeliavimui naudojami radionuklidų savitieji aktyvumai, radiometriškai nustatyti kelio dangos bandiniuose. Atskirų radionuklidų ^{40}K , ^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ac , ^{228}Th ir ^{234}Th savitųjų aktyvumų nustatymui, buvo naudota gama spektrometrinė analizė.

Išmatuotieji savitieji aktyvumai asfalto bandiniuose rodo, kad ^{226}Ra savitasis aktyvumas kelio dangoje 130% didesnis, negu ^{226}Ra vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje. ^{40}K savitasis aktyvumas kelio dangoje, pusėje tirtų mėginių apie 43% didesnis, negu vidutinis ^{40}K savitasis aktyvumas dirvožemyje. Dirbtinių radionuklidų asfalto dangoje nebuvo aptikta.

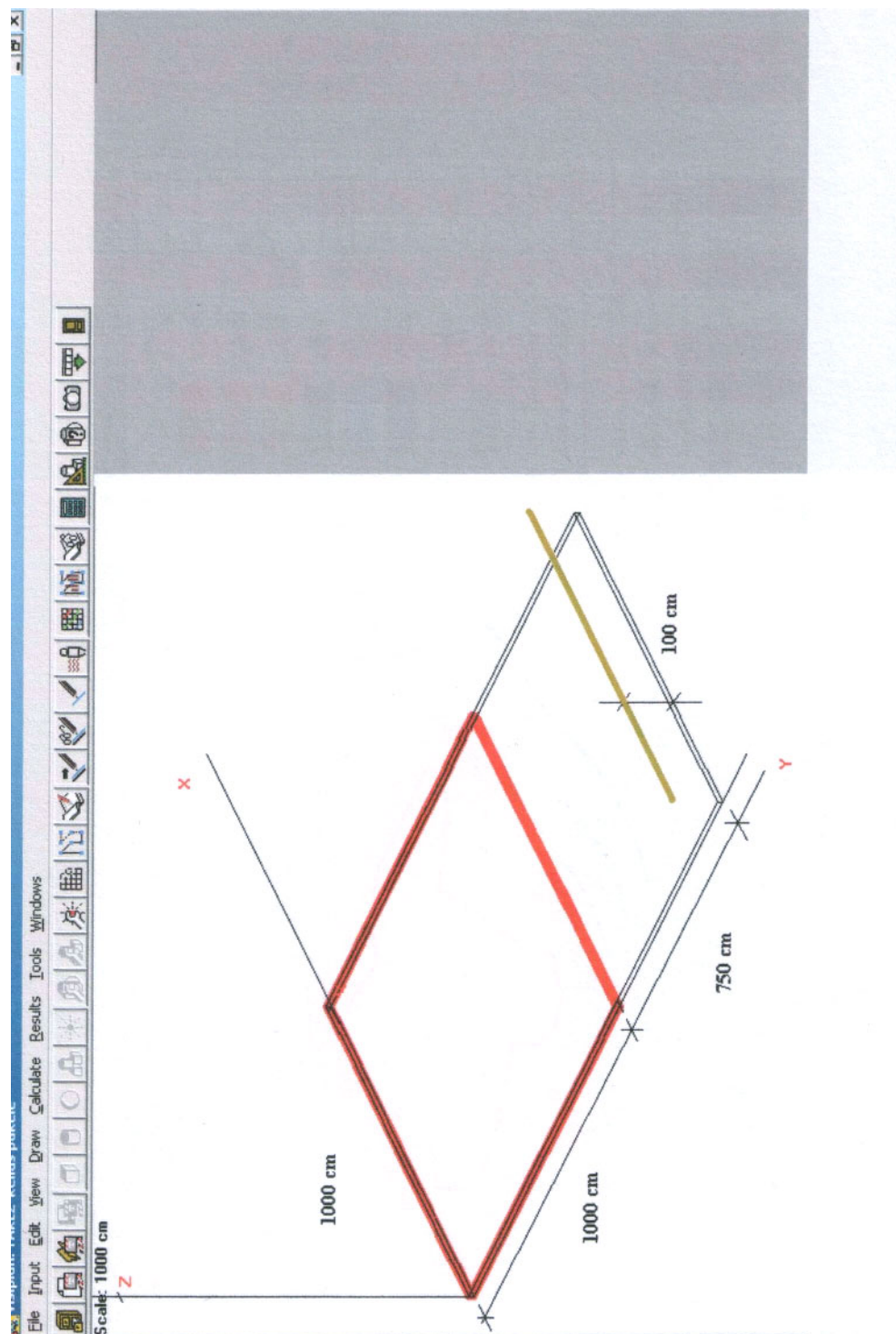
Modeliavimui naudojama VISIPLAN programa. Ši programa modeliuoja LDG ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$) nuo užduotų apšvitos šaltinių, kurie yra apriboti erdvėje geometrinių parametrų, taip pat nurodant juose esančių radionuklidų savituosius aktyvumus. Sudaryti keli skirtingos geometrijos modeliai.

Kiekvienam šaltiniui užduotas tikslumas 1000 taškų. Modeliavimo paklaida gali siekti iki 30%. Norint gauti tikslesnius rezultatus, reikėtų nustatyti didesnę tikslumą tiksliau, užduoti daugiau taškų, bet tuomet vieno modelio apdorojimui programai gali prireikti kelių parų.

Šio modeliavimo tikslas yra nustatyti ar asfalto dangoje esantys radionuklidai gali būti priežastimi to, kad vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje A6 magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos. Žiemą 3 %, vasarą 2%. A11 magistralėje atitinkamai žiemą 1%, vasarą 2%.

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

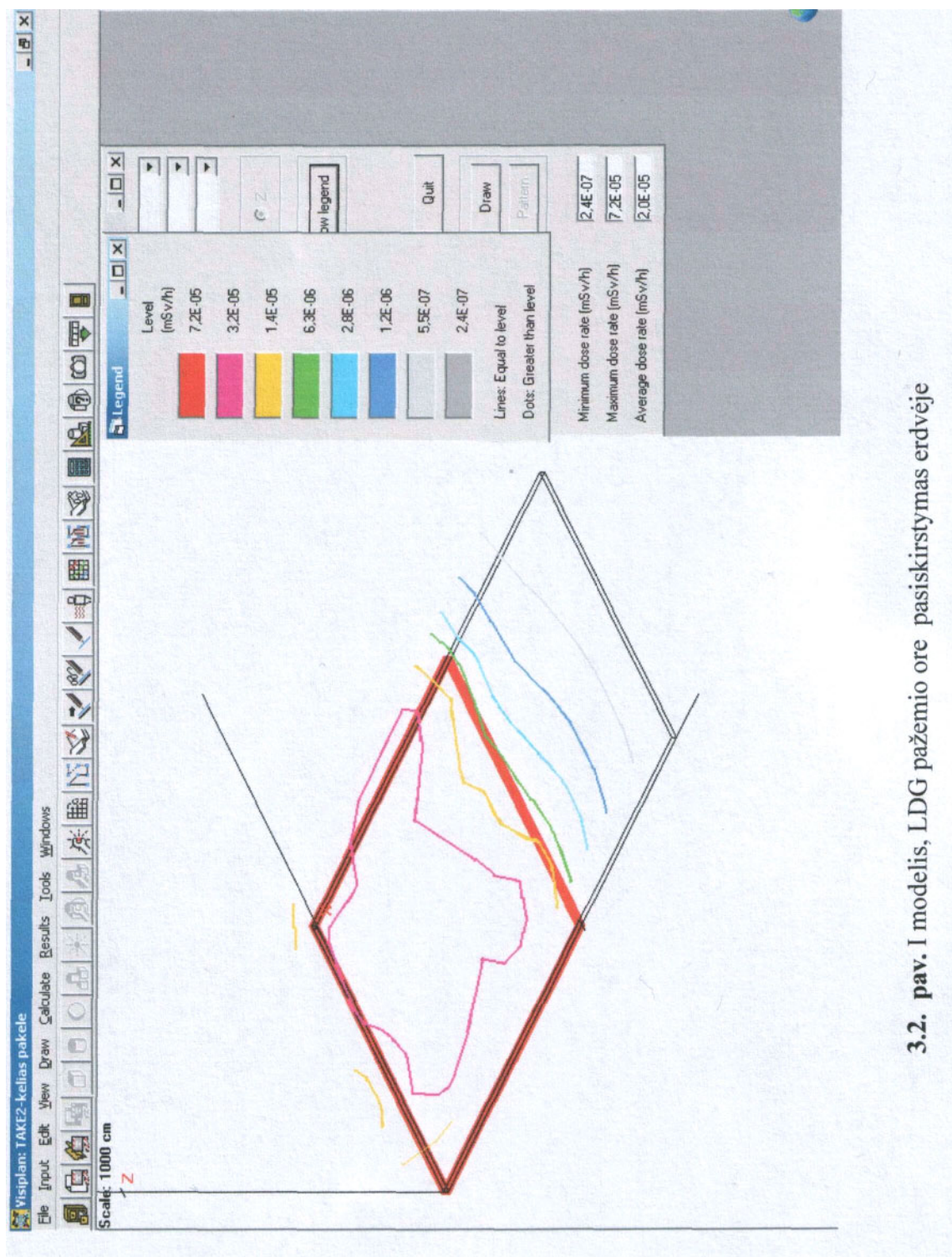
Programoje VISIPLAN, **Take** struktūroje užduoto šaltinio (asfalto dangos) ir pakeinės zonos iki 7,5m atstumo nuo asfalto dangos, atvaizdavimas pateikiamas 3.1 pav. Šiame paveiksle matyti, kad nagrinėjama 10m ilgio magistralės atkarpa. Užduoti begalinio arba kilometro eilės ilgio atkarpą nėra tikslinga, todėl, kad dozės galia atvirkščiai proporcinga atstumo nuo šaltinio kvadratai.



3.1. pav. Asfalto dangos ir pakeinės zonos apibrėžimas erdvėje

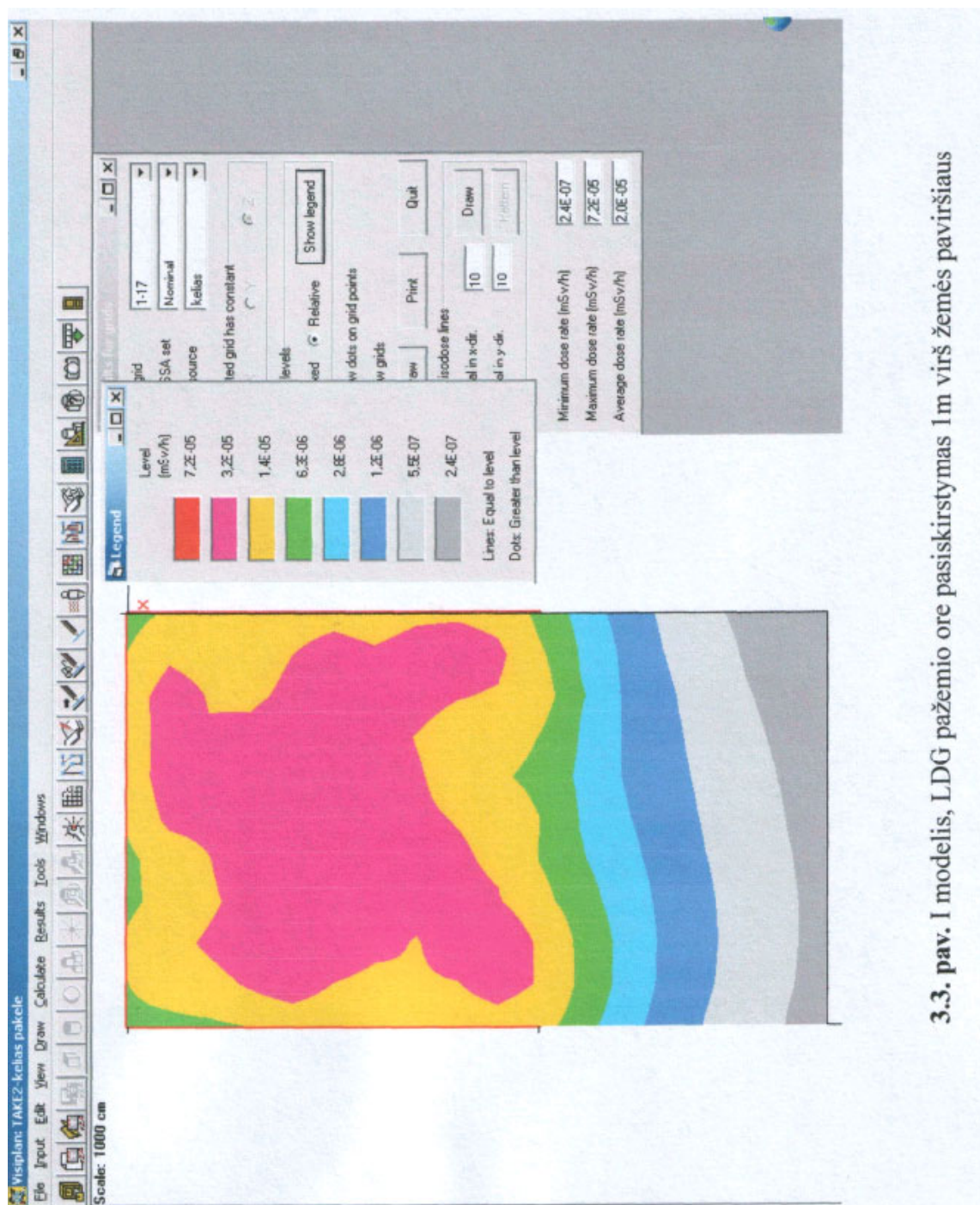
I modelis

Asfalto danga su 11 frakcijos skaldele. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje: ^{40}K - $542 \pm 7,2 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{232}Th - $9,97 \pm 14,6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{226}Ra - $24,3 \pm 6,8 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Magistralės atkarpos ilgis 10m. 3.2. ir 3.3 pav. pateikiama LDG pažemio ore sklaida, tolstant nuo asfalto dangos.



I modelis

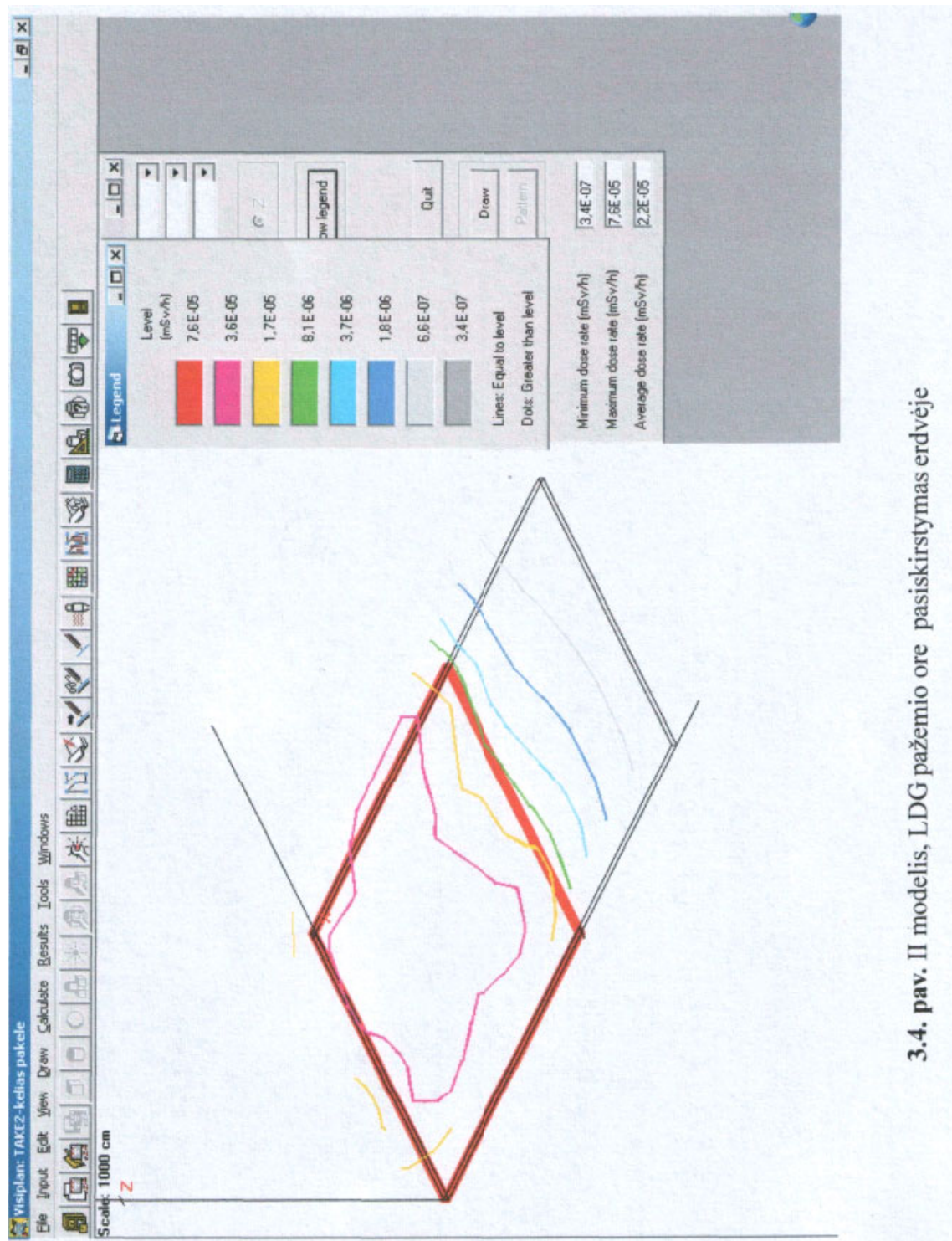
Minimali LDG pažemio ore vertė $0,24 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, gauta 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos, maksimali vertė $32 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ gauta 1m virš asfalto dangos, vidutinė vertė visame nagrinėjamame plote $20 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.



3.3. pav. I modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus

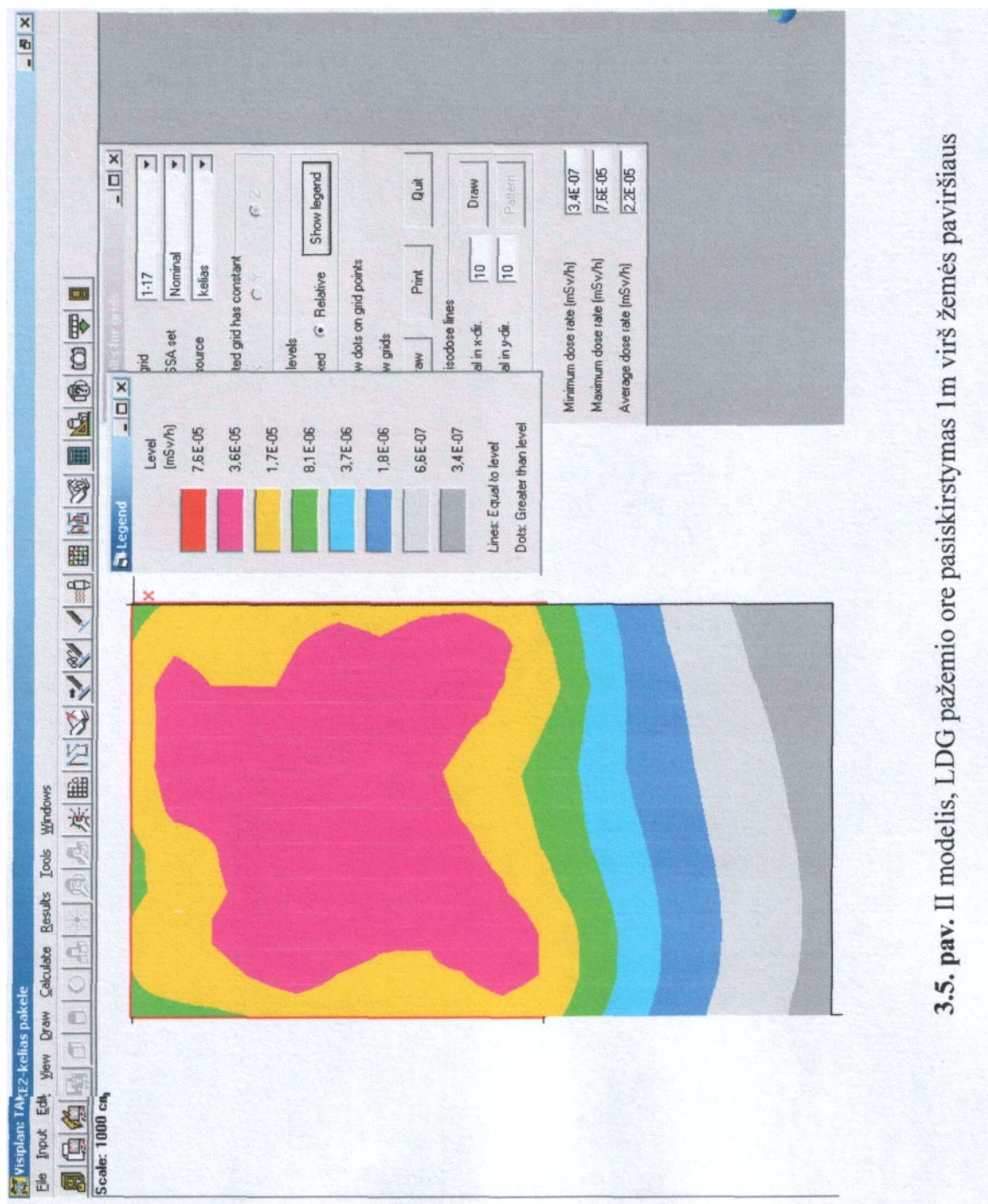
II modelis

Asfalto danga su 16 frakcijos skaldele. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje: ^{40}K - $777 \pm 7,2 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{232}Th - $10,06 \pm 13,9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{226}Ra - $29,9 \pm 6,4 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Magistralės atkarpos ilgis 10m. 3.4. ir 3.5 pav. pateikiama LDG pažemio ore sklaida, tolstant nuo asfalto dangos.



II modelis

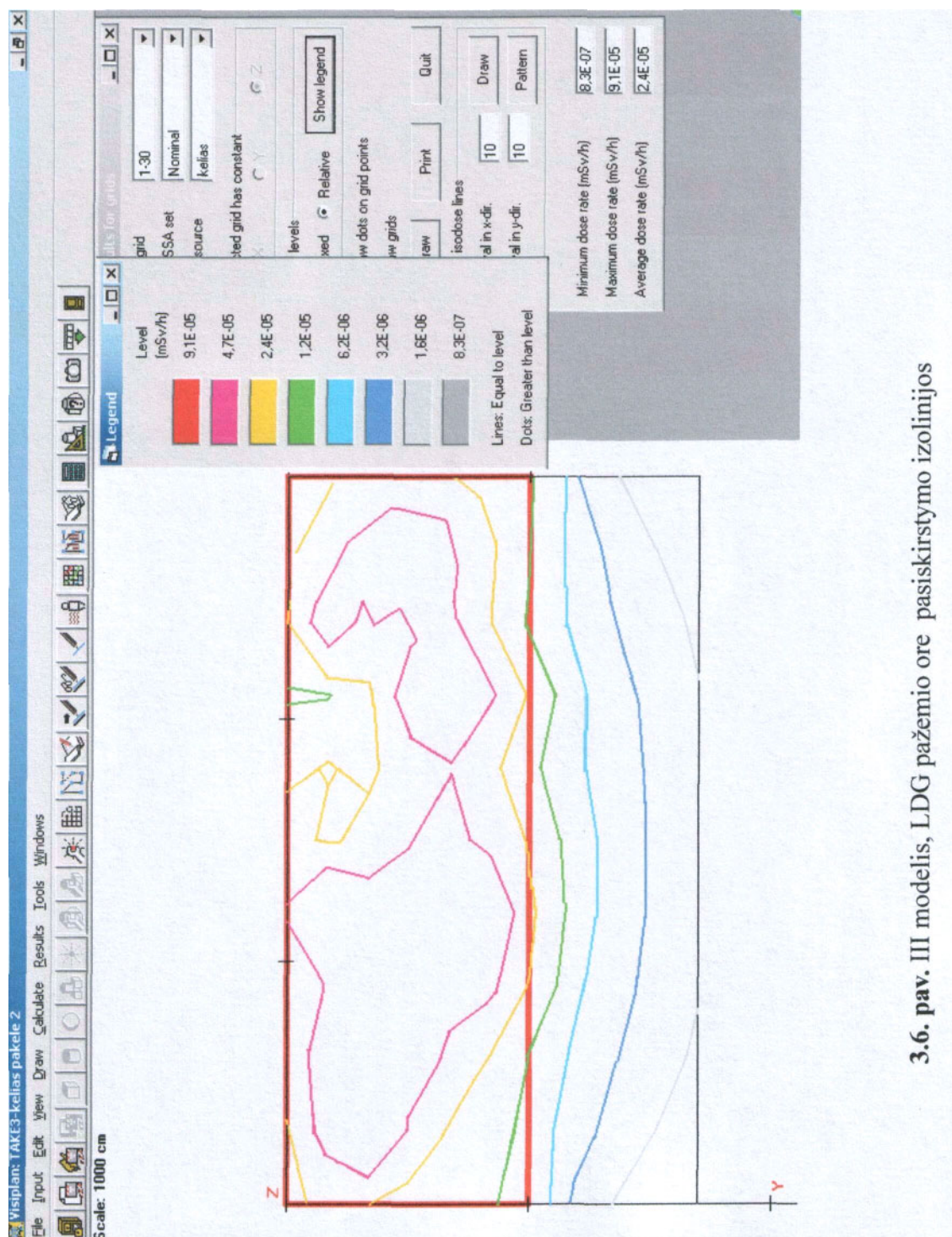
Minimali LDG pažemio ore vertė $0,34 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, gauta 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos, maksimali vertė $36 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ gauta 1m virš asfalto dangos, vidutinė vertė visame nagrinėjamame plote $22 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.



3.5. pav. II modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus

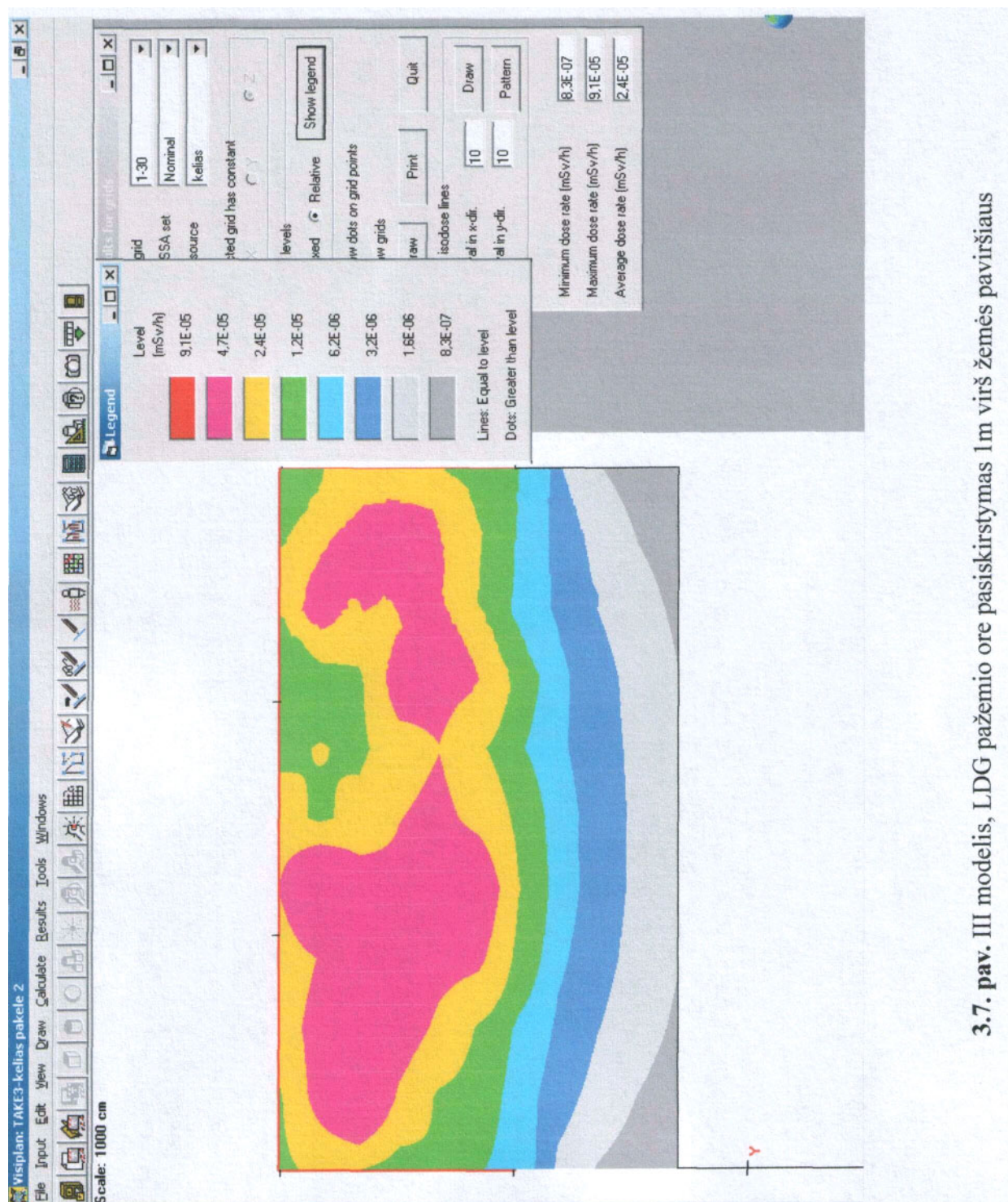
III modelis

Asfalto danga su 11 frakcijos skaldele. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje: ^{40}K - $542 \pm 7,2 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{232}Th - $9,97 \pm 14,6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{226}Ra - $24,3 \pm 6,8 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Magistralės atkarpos ilgis 30m. 3.6. ir 3.7 pav. pateikiama LDG pažemio ore sklaida, tolstant nuo asfalto dangos.



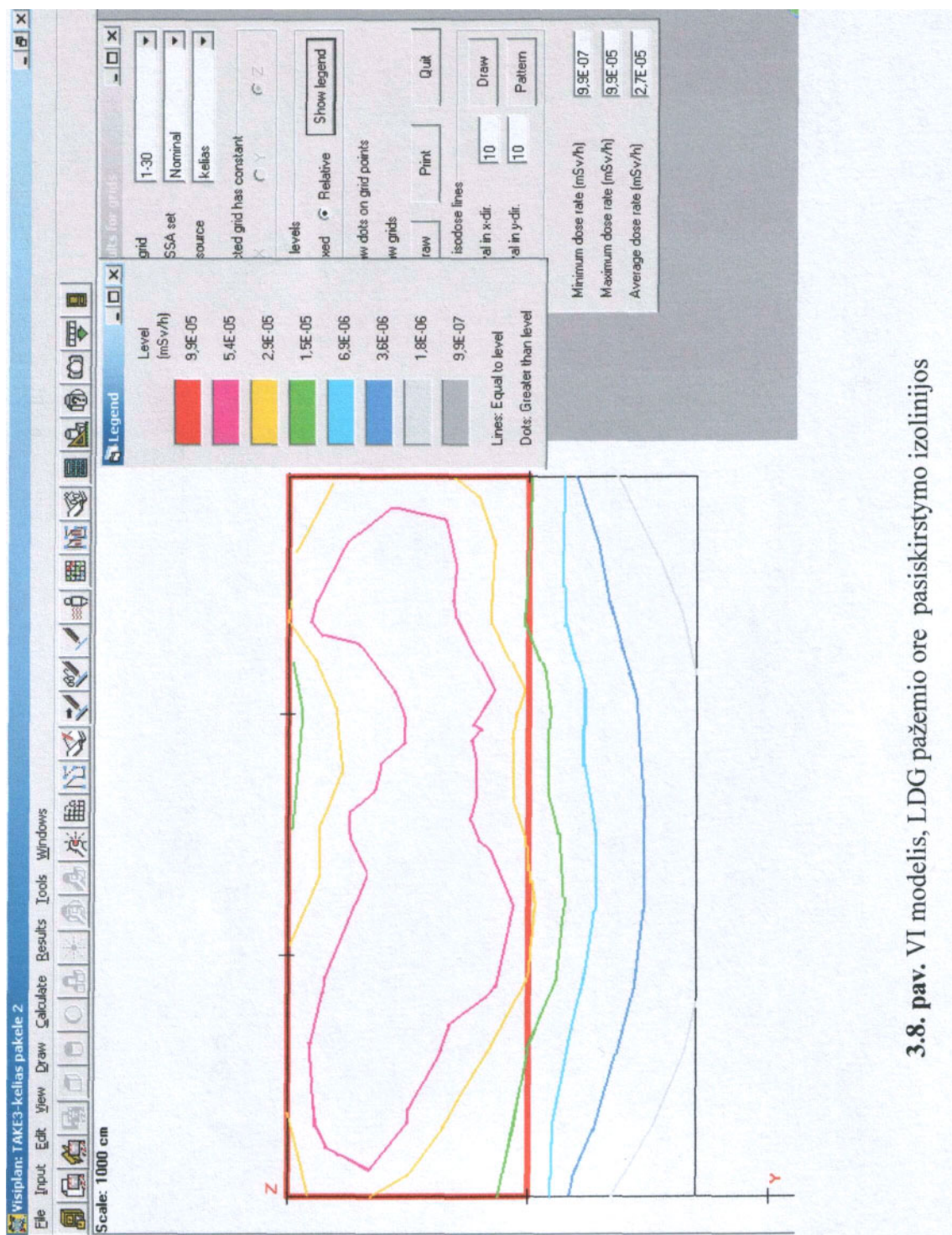
III modelis

Minimali LDG pažemio ore vertė $0,83 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, vertė gauta 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos $1,6 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, maksimali vertė $47 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ gauta 1m virš asfalto dangos, vidutinė vertė visame nagrinėjamame plote $24 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.



IV modelis

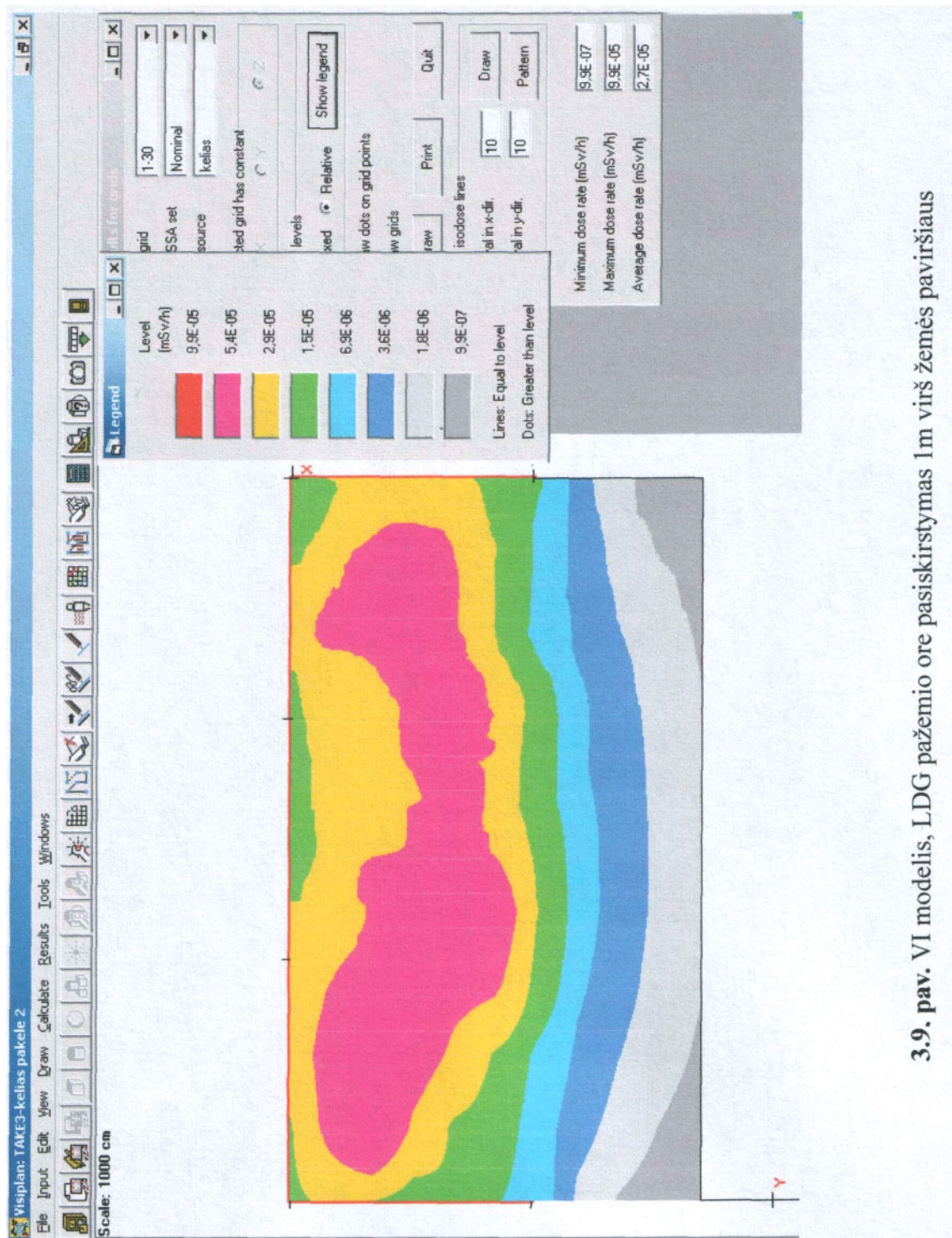
Asfalto danga su 16 frakcijos skaldele. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje: ^{40}K - $777 \pm 7,2 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{232}Th - $10,06 \pm 13,9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{226}Ra - $29,9 \pm 6,4 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Magistralės atkarpos ilgis 30m. 3.4. ir 3.5 pav. pateikiama LDG pažemio ore sklaida, tolstant nuo asfalto dangos.



3.8. pav. VI modelis, LDG pažemio ore pasiskirstymo izolinijos

IV modelis

Minimali LDG pažemio ore vertė $0,99 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, vertė gauta 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos $1,8 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, maksimali vertė $54 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ gauta 1m virš asfalto dangos, vidutinė vertė visame nagrinėjamame plote $27 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.



Visuose modeliuose LDG pažemio ore formavimo šaltiniu laikoma tik asfalto danga. Visos pateiktos vertės sumodeliuotos nuo vieno šaltinio – asfalte esančių radionuklidų gama spinduliuotės. Čia nėra įskaitomas nei kosminės spinduliuotės, nei grunte ar pažemio ore esančių radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės įnašas.

Pirmame (I) ir antrame (II) modeliuose šaltinis (asfalto danga) yra užduotas 10m ilgio, trečiame (III) ir ketvirtame (IV) modeliuose šaltinis užduotas 30m ilgio, to tikslas nustatyti ar 7,5m atstumu nuo asfalto jaučiama toliau esančios dangos radionuklidų įtaka. Modeliuose naudojami savitieji aktyvumai parinkti iš nustatytųjų verčių intervalo.

Pirmame (I) ir trečiame (III) modeliuose asfalto danga su 11 frakcijos skaldele, antrame (II) ir ketvirtame (IV) modeliuose asfalto danga su 16 frakcijos skaldele.

3.6 lentelė. Modeliavimo programa VISIPLAN nustatytų lygiavertės dozės galios verčių pažemio ore šalia magistralės apibendrinti statistiniai duomenys

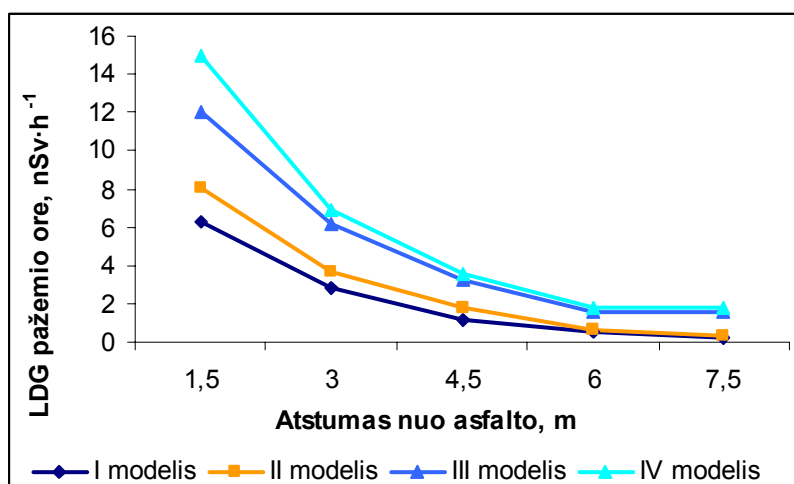
Modeliai	Minimali vertė, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	Maksimali vertė, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	Vidutinė vertė, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$	Vertė 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos, $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$
I	0,24	32	20	0,24
II	0,34	36	22	0,34
III	0,83	47	24	1,6
IV	0,99	54	27	1,8

* Paklaida gali siekti iki 30%.

Vertės gautos 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos kinta nuo 0,24 iki 1,8 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, priklausomai nuo „šaltinio“ geometrijos ir radionuklidų savitųjų aktyvumų. Vertės sudaro 0,2-2 procentus vidutinių LDG pažemio ore verčių, išmatuotų tiesiogiai.

Maksimalios vertės stebimos virš asfalto dangos, ties „šaltinio“ viduriu kito nuo 32 iki 54 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. LDG pažemio ore vertės 7,5m nutolus nuo „šaltinio“, atitinkamai kito nuo 0,24 iki 1,8 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Ryški spalvinė gama labai vaizdžiai parodo dozės galios verčių kitimą, tolstant nuo „šaltinio“. Asfalto dangos pakraščiuose vertės gali būti 20% mažesnės, nei ties viduriu.

Tolstant nuo asfalto dangos, joje esančių radionuklidų formuojama LDG pažemio ore, staigiai mažėja. Tai iliustruoja 3.10 pav.



3.10 pav. LDG pažemio ore formuojamos asfalto dangoje esančių radionuklidų priklausomybė nuo atstumo iki asfalto dangos

Iš 3.10 pav. duomenų matyti, kad tolstant nuo asfalto dangos dozės galia netenka apie 50% savo dydžio kas 1,5m.

Išvados

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

2. Radionuklidai esantys asfalto dangoje galėjo lemti, tai kad išmatuota dozės galia pažemio ore 7,5m atstumu nuo asfalto 2% procentais didesnė, negu dozės galia tolimesniuose atstumuose.

3.3.2. LDG pažemio ore iš dirvožemio modeliavimo rezultatai

Nagrinėjamosiose vietovėse buvo paimti dirvožemio mėginiai, kuriuos ištyrus laboratorijoje, nustatyti radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje.

Radionuklido ^{226}Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1), A6(2) ir A6(3) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Šalia A6(1) apie 19%, šalia A6(2) apie 59% ir šalia A6(3) apie 20%. Radionuklido ^{208}Tl savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1) apie 2% viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje.

Radionuklidų ^{226}Ra , ^{208}Tl ir ^{40}K savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A11(8) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ^{226}Ra apie 136%, ^{208}Tl apie 83% ir ^{40}K apie 2%. Tai rodo dirvožemio sudėties savitumą šiame regione. Tai turėjo įtakos LDG pažemio ore padidėjimui.

Jonizuojančiajai spinduliuotei skverbiantis per dirvožemį, jos intensyvumas I_0 , taigi ir formuojama LDG pažemio ore, silpnėja. Dalį jonizuojančiosios spinduliuotės sugeria dirvožemis. Ši sugertis priklauso nuo dirvožemio sluoksnio storio per kurį spinduliuotė skverbiasi, bei silpninimo koeficiento μ .

Modeliuojant su programa InterRAS gaunama LDG pažemio ore pagal dirvožemio mėginiuose esančių radionuklidų aktyvumus ploto vienetu. Tačiau tos pat vietovės LDG vertės nuo skirtingame gylyje esančių sluoksnių nėra tiesiog susumuojamos. Atsižvelgiant į spinduliuotės silpninimą, sumodeliuotos LDG pažemio ore vertės sumažintos, atsižvelgiant į ją formuojančio konkretaus radionuklido energiją ir į tai, koks dirvožemio sluoksnio storis ekranuoja spinduliuotę. Sluoksnio storis d atitinkamai nustatomas pagal tai, iš kokio gylio paimtas mėginys. Laikoma, kad mėginys 0-3 cm gylyje nėra ekranuojamas. Mėginiai iš kitų gylių ekranuojami dirvožemio: mažiausiai - 3cm, daugiausiai - 20cm.

Modeliuojant nustatyta, kad LDG pažemio ore formuoja gamtiniai radionuklidai, esantys dirvožemyje. LDG pažemio ore formuoja gamtinės kilmės radionuklidai, esantys dirvožemyje: ^{232}Th apie 31% ir ^{238}U apie 22%, bei ^{40}K – daugiausiai, apie 47%. Iš ^{232}Th šeimos didžiausią įtaką turi ^{212}Pb (238 keV energijos), ^{208}Tl (583keV), ^{212}Bi (727keV) ir ^{228}Ac (911 keV), o iš ^{238}U šeimos ^{214}Pb (325keV) ir ^{214}Bi (609keV). Tirtuose bandiniuose dirbtinių radionuklidų neaptikta, išskyrus ^{137}Cs . Šio radionuklido indėlis į LDG pažemio ore yra menkas ir gali būti nepaisomas.

Maždaug 10% LDG pažemio ore lemia radionuklidų, esančių ore, daugiausia ^{222}Rn skilimo produktų ^{214}Pb ir ^{214}Bi , spinduliuotė.

3.7 lentelė LDG pažemio ore modeliavimo rezultatai

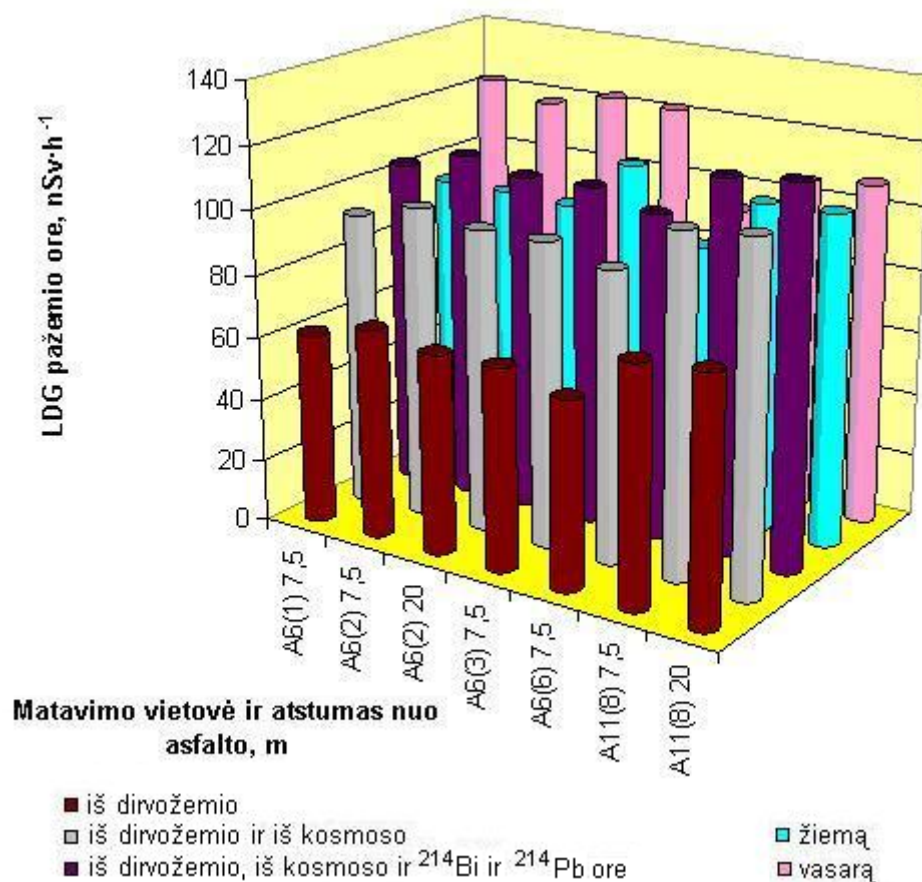
Matavimo vietovė ir atstumas nuo asfalto, m	LDG pažemio ore šaltiniai		
	dirvožemis	dirvožemis ir kosmosas	dirvožemis kosmosas ir ²¹⁴ Pb, ²¹⁴ Bi
			spinduliuotė ore
LDG pažemio ore, nSv·h ⁻¹			
A6(1) 7,5	61±6	93±6	104±10
A6(2) 7,5	67±7	99±7	110±12
A6(2) 20	64±6	96±6	107±12
A6(3) 7,5	65±7	97±7	108±13
A6(6) 7,5	60±6	92±6	103±10
A11(8) 7,5	76±8	108±8	118±16
A11(8) 20	78±8	110±8	120±16

Pagal modeliavimo rezultatus, magistralės A6 Kaunas – Zarasai nagrinėjamose vietovėse LDG pažemio ore, formuojama dirvožemyje esančių radionuklidų yra vidutiniškai 17% mažesnė, nei magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga nagrinėjamose vietovėse. Pagal matavimo rezultatus, magistralės A6 vietovėse LDG pažemio ore vidutiniškai 12% mažesnė vasarą (neįskaitant A6(3)), negu A11 magistralės nagrinėjamose vietovėse.

Pridėjus kosminės spinduliuotės įnašą (32 nSv ·h⁻¹ šiaurės pusrutuliiui [7]) gautos LDG pažemio ore vertės, visose nagrinėjamose vietovėse, labai artimos vasarą išmatuotoms vertėms. A6(3) vietovėje 7,5m atstume išmatuotoji vertė vasarą yra 11% didesnė, negu sumodeliuota dirvožemio ir kosmoso LDG pažemio ore vertė.

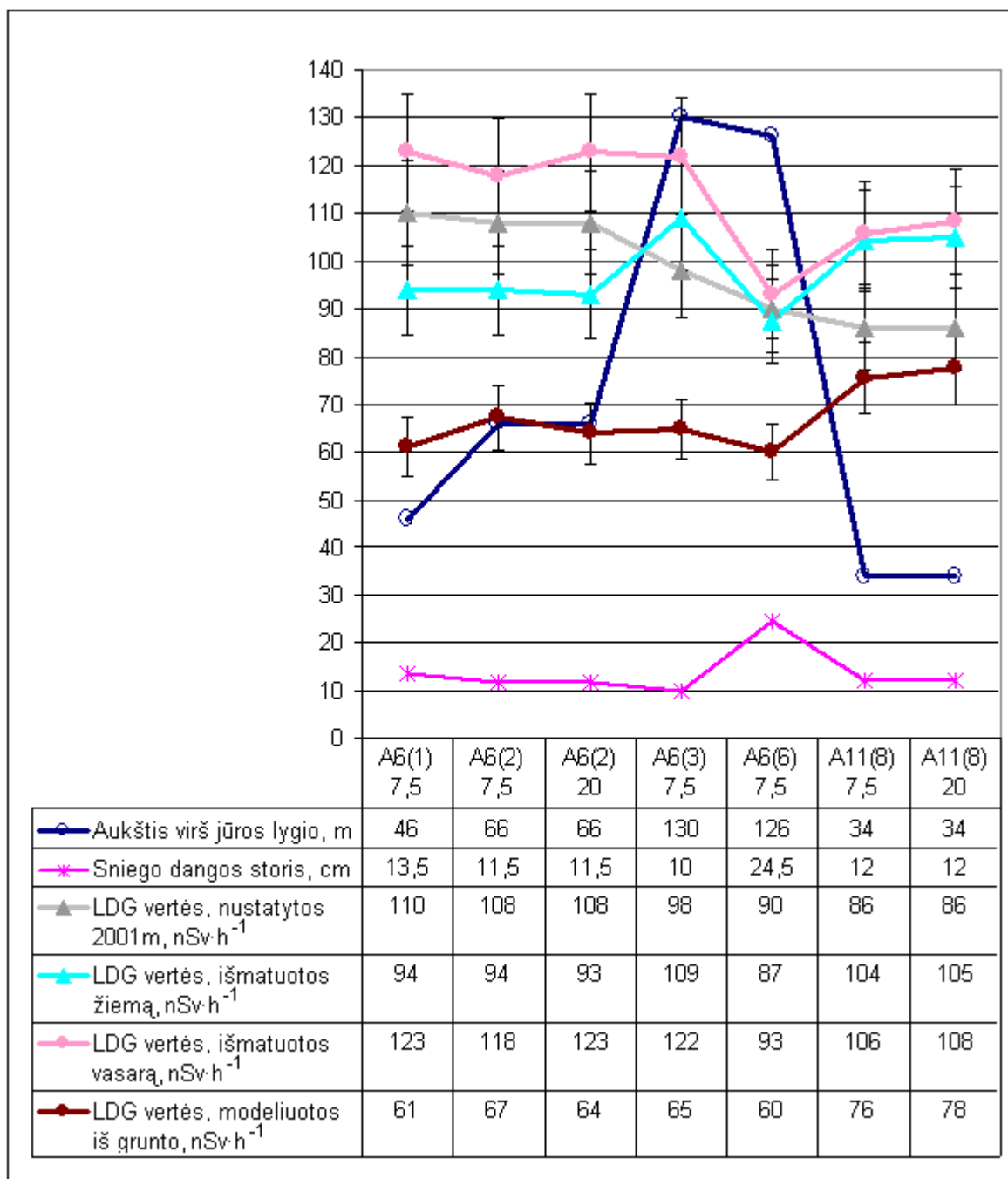
LDG pažemio ore formuoja gamtiniai radionuklidai esantys dirvožemyje, kosminė spinduliuotė, bei radionuklidai, esantys ore. Priskiriant, kad apie 10% LDG pažemio ore formuoja gama spinduliai ^{214}Pb ir ^{214}Bi esantys ore, gaunamos LDG pažemio ore vertės, kurios išsidėsto apie vidurį išmatuotųjų LDG pažemio ore žiemą ir vasarą verčių. Tai iliustruoja 3.11 pav.

Modeliuojant gautos LDG pažemio ore vertės, lyginant su išmatuotomis vertėmis yra paklaidų ribose artimos. Taigi galima daryti išvadą, kad modeliavimo tikslumas yra pakankamas, o padarytos prielaidos teisingos.



3.11 pav. LDG pažemio ore modeliavimo ir matavimo verčių palyginimas

Toliau nagrinėjant 3.11 pav. duomenis galima išskirti dvi vietovių grupes. Pirmoji grupė A6(1) 7,5; A6(2) 7,5; A6(2) 20 ir A6(3) 7,5 vietovės. Šiose vietovėse išmatuotosios vasarą LDG pažemio ore vertės vidutiniškai 19% didesnės, negu tose pat vietovėse žiemą gautos vertės. Antroji grupė: A6(6) 7,5; A11(8) 7,5 ir A11(8) 20 vietovės. Šiose vietovėse išmatuotųjų LDG pažemio ore verčių skirtumas žiemą ir vasarą tesudaro tik 3%. Daugelyje vietovių LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ²²²Rn ekshalaciją iš dirvožemio ir tuo pačiu sumažino ore LDG vertes, dėl to ir susidaro minėtas verčių skirtumas. Yra vietovių, kur žiemą LDG pažemio ore vertės išmatuotos didesnės vasarą. Tai galima paaiškinti tuo, kad vešli augalinė danga vasarą labiau slopino jonizuojančiąją spinduliuotę iš grunto, negu plona sniego danga žiemą.



3.12 pav. Nagrinėjamų vietovių gautų parametrų vaizdavimas

Šiame paveiksle apibendrintai pateikiami visi parametrai, kurie nustatyti tiesiogiai matuojant ir modeliuojant konkrečioms nagrinėjamoms vietovėms. Iš 3.12 pav. duomenų galima spręsti, kad jokio koreliacinio ryšio tarp aukščio virš jūros lygio ir LDG verčių nėra, taigi pasitvirtina prielaida, kad Lietuvos teritorijoje kosminės spinduliuotės įnašas gali būti laikomas pastoviu, nes altitudžių kitimas yra tik 100m ribose.

Pagal modeliavimo rezultatus, magistralės A6 Kaunas – Zarasai nagrinėjamose vietovėse LDG pažemio ore, formuojama dirvožemyje esančių radionuklidų ir kosminės spinduliuotės yra

vidutiniškai 12% mažesnė, nei magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga nagrinėjamose vietovėse. Pagal matavimo rezultatus, magistralės A6 vietovėse LDG pažemio ore vasarą vidutiniškai taip pat 12% mažesnė (neįskaitant A6(3)), negu A11 magistralės nagrinėjamose vietovėse.

Taigi, dirvožemyje esančių radionuklidų gama spinduliuotė yra pagrindinė LDG pažemio ore formavimosi priežastis. LDG pažemio ore dydis priklauso nuo dirvožemio savitumo. LDG pažemio ore 12% verčių skirtumą A11 ir A6 magistralių vietovėse lėmė skirtingas dirvožemis.

3.3.3. Išvados

1. Asfalto dangoje esančiųjų radionuklidų jonizuojančioji spinduliuotė gali sudaryti apytiksliai nuo 0,2% iki 2% LDG pažemio ore vertės 7,5m atstumu nuo asfalto.
2. LDG pažemio ore formuoja gamtinės kilmės radionuklidai, esantys dirvožemyje: ^{232}Th - apie 31%, ^{238}U - apie 22%, bei ^{40}K – daugiausiai, apie 47%. Iš ^{232}Th šeimos didžiausią įtaką turi ^{212}Pb (238 keV energijos), ^{208}Tl (583keV), ^{212}Bi (727keV) ir ^{228}Ac (911 keV), o iš ^{238}U šeimos ^{214}Pb (325keV) ir ^{214}Bi (609keV) jonizuojančioji spinduliuotė.
3. Tirtuose bandiniuose dirbtinių radionuklidų neaptikta, išskyrus ^{137}Cs . Šio radionuklido indėlis į LDG pažemio ore yra menkas ir gali būti nepaisomas.
4. Nenustatyta LDG pažemio ore priklausomybė nuo vietovės aukščio virš jūros lygio.
5. Nustatyta, kad LDG sandara pažemio ore yra kosminė spinduliuotė - 30%, radionuklidų esančių dirvožemyje apie 60% ir ore esančių radionuklidų ^{214}Pb ir ^{214}Bi - apie 10%.

4. BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. LDG vertės pažemio ore šalia magistralių matavimo vietose tiek vasarą tiek žiemą paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m.nustatytoms tuose regionuose, atitinkamai 90 – 110 nSv·h⁻¹ A6 magistralei ir 86 – 110 nSv·h⁻¹ A11 magistralei.
2. Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėse, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja tiek žiemą tiek vasarą. Paklaidų ribose nesiekia viršutinės 110 nSv·h⁻¹ ribos. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.
3. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje A6 magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos: žiemą - 3 %, vasarą - 2%. A11 magistralėje atitinkamai žiemą - 1%, vasarą - 2%.
4. Didžiausi LDG pažemio ore verčių skirtumai tarp matavimų 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, ne kitose matavimo vietovėse šioje magistralėje, galima teigti, kad žiemą sniego danga silpnina jonizuojančiosios spinduliuotės sklaidimą iš dirvožemio.
5. Daugumoje nagrinėtų vietovių LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ²²²Rn ekshalaciją iš dirvožemio ir tuo pačiu sumažino ore LDG vertes. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė ir žiemos metu arti magistralės matavimo vietose nebuvo lokalių radioaktyviosiomis medžiagomis taršos šaltinių.
6. Radionuklido ²²⁶Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1), A6(2) ir A6(3) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Šalia A6(1) apie 19%, šalia A6(2) apie 59% ir šalia A6(1) apie 20%. Radionuklido ²⁰⁸Tl savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1) apie 2% viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Tai rodo dirvožemio sudėties savitumą šiame regione.
7. Radionuklidų ²²⁶Ra, ²⁰⁸Tl ir ⁴⁰K savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A11(8) viršija vidutiniškas savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ²²⁶Ra apie 136%, ²⁰⁸Tl apie 83% ir ⁴⁰K apie 2%. Tai rodo dirvožemio sudėties savitumą šiame regione. Tai turėjo įtakos LDG pažemio ore padidėjimui.

8. ^{226}Ra savitasis aktyvumas asfalto dangoje 130% didesnis, negu ^{226}Ra vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje. ^{40}K savitasis aktyvumas asfalto dangoje, pusėje tirtų mėginių apie 43% didesnis, negu vidutinis ^{40}K savitasis aktyvumas dirvožemyje.
9. Remiantis modeliavimo rezultatais nustatyta, kad radionuklidai esantys asfalto dangoje galėjo lemti tai, kad išmatuota dozės galia pažemio ore 7,5m atstumu nuo asfalto 2% didesnė, negu dozės galia tolimesniuose atstumuose.
10. LDG pažemio ore formuoja gamtinės kilmės radionuklidai, esantys dirvožemyje: ^{232}Th - apie 31%, ^{238}U - apie 22%, bei ^{40}K – daugiausiai, apie 47%. Iš ^{232}Th šeimos didžiausią įtaką turi ^{212}Pb (238 keV energijos), ^{208}Tl (583keV), ^{212}Bi (727keV) ir ^{228}Ac (911 keV), o iš ^{238}U šeimos ^{214}Pb (325keV) ir ^{214}Bi (609keV).
11. Modeliuojant gautos LDG pažemio ore vertės, lyginant su išmatuotomis vertėmis paklaidų ribose yra artimos. A6 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes ir 7% mažesnės už vasarą išmatuotas vertes. A11 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes.
12. Asfalto dangos formuojama LDG pažemio ore priklauso nuo joje esančių radionuklidų savitųjų aktyvumų verčių, kurios priklauso nuo asfalto dangai naudojamos skaldos frakcijos. Bandiniuose su 16 frakcijos skaldele formuojama LDG pažemio ore 7,5m atstume nuo asfalto gali siekti iki 2% LDG verčių, o su 11 frakcijos skaldele apie 0,2%.
13. Magistralėje Vilnius – Kaunas – Palanga, A7(1) vietovėje nustatytos LDG vertės pažemio ore yra didžiausios lyginant su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat didelės vertės A16(6) vietovėje; jos apie 10% didesnės, nei A7(1), A6(4) ir A11(6) nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtos vietovės yra Kauno rajone.
14. 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%.

REKOMENDACIJOS

1. Pakeles apsodinti augaline danga ir taip sumažinti grunte esančių radionuklidų resuspensiją.
2. Pagal tirtų asfalto bandinių 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 formavimuisi.

5. LITERATŪRA

1. G. Morkūnas. Radiacinė sauga? Tai visai paprasta. Radiacinės saugos centras, 2004. 191p.
2. G. Morkūnas, L. Pilkytė ir kiti Radonas patalpose. Jo kiekio mažinimo būdai. V.: Asveja, 2002. 13 p.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR report 1998, New York. 647 p.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposures from natural sources. UNSCEAR report 1997, Vienna. 60 p.
5. WHO working group. Health hazards from radioceesium following the Chernobyl nuclear accident. Journal of environmental Radioactivity, 1995, p. 275-295.
6. J. Porstendorfer. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. 1994, Journal of Aerosol Science, 1994, p. 219-263.
7. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. Volume I. United Nations, vol. 29, 2000, p. 105-107.
8. Lebedytė M. Gama spinduliuotės intensyvumo laukų pažemio ore ir jų kaitos Lietuvoje tyrimai. Daktaro disertacija, 2001. 105 p.
9. Björn Whlström, T. Nedveckaitė, V. Skaržinskienė. Ar pavojinga radiacija? Radiacija...jei įvyktų avarija atominėje elektrinėje. V.: 2001, p. 17-69
10. W. M. Lowder, H. L. Beck. Cosmic-ray ionization in the lower atmosphere. Journal of Geophysical Research, 1966, p. 461-467.
11. Butkus D. The consequences of the Chernobyl accident in Lithuania. Lithuania's environment: status, processes, trends// Environmental Protection Ministry of the Republic of Lithuania, 1995, p.110-117.
12. Atoms, radiation and radiation protection. By James E. Turner New York.: John Wiley & Sons inc., 1995, p.100-112.
13. HN 73 – 2001 Lietuvos higienos norma. Profesinė apšvita. Leidžiamų dozių ribos. LR Sveikatos apsaugos ministerija. V.: 2002, p 2-9.
14. Tamašauskas A., Vosylius J., Radvilavičius Č.. Fizika. T.3. V.: Mokslas, 1992.180 p.
15. Valiukėnas V., Makariūnienė E., Morkūnas G. Jonizuojančiosios spinduliuotės ir radiacinės saugos terminų žodynas. Vilnius: Litimo, 1999. 150 p.
16. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai <http://www.rsc.jonsp.saltiniai>. 2000, 16 p.

17. Girgždys. Aplinkos monitoringas. V.: Technika, 2000. p. 24-26
18. H. Muller, G. Prohl. ECOSYS-87: A dynamic model of assessing radiological consequences of nuclear accidents. Health physics, 1987 p. 232-252.
19. Р. М. Алексахин. Ядерная энергия и биосфера. Москва, 1985. 215 с.
20. D. C. Kocher. Dose-rate conversion factors of external exposure to photons and electrons. Health Physics, 1983, p. 65-686
21. Clouvas A., Xanthos S., Antonopoulos-Domis M., Silva, Monte-Carlo J. Calculation of dose rate conversion factors for external exposure to photon emitters in soil. Health Physics, 2000, p. 295-302.
22. S. Y. Chen. Calculation of effective dose-equivalent responses for external exposure from residual photon emitters in soil. Health Physics, 2000, p. 411-426.
23. M. N. Alam, M.I. Chowdhury, M. Kamal, S. Ghose, M.N. Islam, M.N. Mustafa, M.M.H. Miah, M.M. Ansary. The ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K activities in beach sand minerals and beach soils of Cox's Bazaar, Bangladesh. Journal of Environmental Radioactivity, 1999, p. 243-250.
24. K. A. Butt, A. Ali, A. A. Qureshi. Estimation of environmental gamma background radiation level in Pakistan. Health Physics, 1998, p. 63-66.
25. E. Realo. radionuclides and dose rates in the Estonian Enviroment. Regional IRPA Congress, Radiation Protection Issues in the Baltic Region with Emphasis on Co-operative Project with Estonia, Latvia and Lithuania, June Stockholm, Sweden, 1998, p.193-198.
26. G. A. Aycik, A. Erkan. Radioactivity measurements of coals and ashes from coal-fired power plants in the Southwestern part of Turkey. Journal of Environmental Radioactivity. 1997, p. 23-35.
27. A. Malanka, L. Gaidolfi, V. Pessina, G. Dallara. Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soils of Rio-Grande do Norte, Brazil. Journal of Environmental Radioactivity, 1996, p. 30, 55-67.
28. J. Ašmenskas, A. Baubinas Aplinkos medicina. Vilnius.: Avicena, 1997, 118 p.
29. Nedveckaitė T. Radiacinė sauga Lietuvoje. Vilnius.: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 1998. p. 12-33
30. HN 85:2003 Lietuvos higienos norma. "Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos". LR Sveikatos aps. ministerija. V.: 2002. 24 p.
31. D.Delacroix, J.P.Guerre, P.Lebiane, C.Hickman. Radionuclide and radiation protection data handbook 1998. Nuclear Technology Publishing, 1998. 74 p.

32. Butkus D., Lebedytė M. Diurnal and annual variations in gamma radiation intensity in the ground level air in Lithuania. *Atmospheric Physics*, 18, 2, 1996, p. 51-56
33. Fleischer R. L. Moisture and ^{222}Rn emanation. *Health Physics*, 52, 1987, p., 797-799.
34. Dorr H., Munnich K. O. Concentration profiles in West Germany. Soil ^{222}Rn as tracer for gas transport in the unsaturated soil zone. *Tellus*, 428, 1990, 20-28.
35. Butkus D., Lebedytė M. Gamma radiation intensity in the ground level air in Lithuania. *Lithuanian Journal of Physics*, 2000, 40, N. 4, p. 217-220
36. Antonopoulos-Domis M., Clouvas A., Xanthos S. Radio cesium contamination in a sub-Mediterranean semi natural ecosystem following the Chernobyl accident: measurements and models. *Health Physics*, 1997, p. 243-255.
37. Буткус Д., Моркунас Г., Стыро Б. Изучение зон с повышенным уровнем гамма-излучения поверхности земли. *Физика атмосферы*, Т. 14, 1989, с. 53-60.
38. Arapis G., Chesnokov A., Ivanova T., Potapov V., Sokolik G. Evaluation of dose equivalent rate reduction as a function of vertical migration of ^{137}Cs in contaminated soils. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1999, p. 251-263.
39. Butkus D., Krenevičius R., Morkūnas G., Kandrotas G., Korkutis P. Užteršimo ^{137}Cs tyrimai Lietuvos teritorijoje. *Lietuvos užterštumas radionuklidais ir jo pasekmės*. Vilnius, 1992, p.21-26.
40. Lebedytė M., Butkus D., Morkūnas G. Estimation of external equivalent gamma dose rate caused by gamma radio nuclides in soil. *Environmental and Chemical Physics*. vol. 21, No3-4, 1999, p.78-82.
41. Мойсеев А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990. 252 с.
42. Авотин Ю. Практикум по радиоактивности. М.: Высшая школа, 1974. 134 с.
43. Баранов В.И., Сердюкова А.С., Горбушина Л.М., Назаров И.М., Ефимкина Э. Н. Лабораторные работы и задачи по радиометрии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1986. 387 с.
44. Свешников А.А. Основы теории ошибок. Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1972. 122 с.
45. Martinėnas B. Eksperimento duomenų statistinė analizė. *Mokomoji knyga*. Vilnius.: Technika, 2002. 116 p.
46. Handbook of health physics and radiological health. By Bernard Shieien, Lester A.Slaback, Brian Birky John Wiley & Sons inc., 2001p.220-247.

47. Radionuclide and radiation protection data handbook. By D. Delacroix, J-P. Guerre, P. Leblanc and C. Hickman. New York.: John Wiley & Sons inc. 2002, p.75-101.
48. Gamma spectrometer user manual, 1998. 38p.
49. Physics for radiation protection. By James E. Martin New York.: John Wiley & Sons inc. 2002, p.79-81
50. Jankauskas K. Matavimų paklaidos ir jų įvertinimas. Mokymo priemonė. Klaipėda.: Klaipėdos leidykla, 2000. 68 p.
51. Rabinovich Semyor G. Measurement errors and uncertainties: theory and practice. New York: Springer-Verlag, 2000. 296 p.
52. AVNUCLEAR ANNUAL REPORT Brussels, August 1999. 1p.
<http://www.avnuclear.be/avn/anrep98.pdf>
53. A. O. Pavelescu, E. N. Ghizdeanu. Computer science - a bridge between nuclear knowledge and practice University "POLITEHNICA" of Bucharest, Romania, 2002. 8p.
<http://www.iaea.org/km/cnkm/papers/pavelescuromania.pdf>
54. Slovėnijos branduolinio saugumo svetainės pagrindinis puslapis, 2005. 1 p.
www.sigov.si/ursjv/en/por_pris/nac_odg_16.php
55. Vengrijos branduolinės energetikos valdybos svetainės pagrindinis puslapis, 2005. 1p.
http://www.haea.gov.hu/web/portal.nsf/HTML_files/CERTA?OpenDocument
56. IAEA report Brussels, 2000. 1p.
<http://www.iaea.org/ns/nusafe/y2000/armen1.html>
57. VISIPLAN programos pristatymo įvadas, 2000. 38 p.
http://www.sckcen.be/visiplan/Information_CD/pdf/VISIPLAN_Introduction.pdf
58. VISIPLAN programos naudojimosi instrukcijos ir aprašymai, 2000. 57 p.
http://www.sckcen.be/visiplan/Information_CD/pdf/VISIManual1.PDF

6. PRIEDAI

6.1. Duomenų pertvarkymas modeliavimui

6.1 lentelė. Asfalto 1 bandinio Fr 11, aktyvumo perskaičiavimas

Radionuklidas	Masė, kg	Tūris, l	Tūris , m ³	Tankis, kg·m ⁻³	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹	Tūrinis aktyvumas, Bq·m ⁻³	Aktyvumo tankis, Bq·m ⁻²
1	2	3	4	5	6	7	8
⁴⁰ K	0,527	0,5	0,0005	1054	542	571268	28563
²⁰⁸ Tl	0,527	0,5	0,0005	1054	6,23	6566,42	328
²¹² Pb	0,527	0,5	0,0005	1054	17,4	18339,6	917
²¹² Bi	0,527	0,5	0,0005	1054	25	26350	1318
²¹⁴ Pb	0,527	0,5	0,0005	1054	18	18972	949
²¹⁴ Bi	0,527	0,5	0,0005	1054	22,5	23715	1186
²²⁴ Ra	0,527	0,5	0,0005	1054	12,1	12753,4	638
²²⁶ Ra	0,527	0,5	0,0005	1054	32,5	34255	1713
²²⁸ Ac	0,527	0,5	0,0005	1054	21,7	22871,8	1144
²²⁸ Th	0,527	0,5	0,0005	1054	109	114886	5744
²³⁴ Th	0,527	0,5	0,0005	1054	41,3	43530,2	2177
²²⁶ Ra*	0,527	0,5	0,0005	1054	24,3	25612,2	1281
²³² Th*	0,527	0,5	0,0005	1054	9,97	10508,38	525

6.2 lentelė. Asfalto 2 bandinio Fr 11, aktyvumo perskaičiavimas

Radionuklidas	Masė, kg	Tūris, l	Tūris , m ³	Tankis, kg·m ⁻³	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹	Tūrinis aktyvumas, Bq·m ⁻³	Aktyvumo tankis, Bq·m ⁻²
1	2	3	4	5	6	7	8
⁴⁰ K	0,467	0,5	0,0005	934	560	523040	26152
²⁰⁸ Tl	0,467	0,5	0,0005	934	5,63	5258,42	263
²¹² Pb	0,467	0,5	0,0005	934	18,6	17372,4	869
²¹² Bi	0,467	0,5	0,0005	934	28,6	26712,4	1336
²¹⁴ Pb	0,467	0,5	0,0005	934	15,9	14850,6	743
²¹⁴ Bi	0,467	0,5	0,0005	934	18,9	17652,6	883
²²⁴ Ra	0,467	0,5	0,0005	934	10	9340	467
²²⁶ Ra	0,467	0,5	0,0005	934	30,9	28860,6	1443
²²⁸ Ac	0,467	0,5	0,0005	934	20,5	19147	957
²²⁸ Th	0,467	0,5	0,0005	934	0	0	0
²³⁴ Th	0,467	0,5	0,0005	934	32,4	30261,6	1513
²²⁶ Ra*	0,467	0,5	0,0005	934	21,9	20454,6	1023
²³² Th*	0,467	0,5	0,0005	934	9,01	8415,34	421

6.3 lentelė. Asfalto 3 bandinio Fr 16, aktyvumo perskaičiavimas

Radionuklidas	Masė, kg	Tūris, l	Tūris , m ³	Tankis, kg·m ⁻³	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹	Tūrinis aktyvumas, Bq·m ⁻³	Aktyvumo tankis, Bq·m ⁻²
1	2	3	4	5	6	7	8
⁴⁰ K	0,462	0,5	0,0005	924	775	716100	35805
²⁰⁸ Tl	0,462	0,5	0,0005	924	5,58	5155,92	258
²¹² Pb	0,462	0,5	0,0005	924	17,1	15800,4	790
²¹² Bi	0,462	0,5	0,0005	924	18,6	17186,4	859
²¹⁴ Pb	0,462	0,5	0,0005	924	16,7	15430,8	772
²¹⁴ Bi	0,462	0,5	0,0005	924	19	17556	878
²²⁴ Ra	0,462	0,5	0,0005	924	9,51	8787,24	439
²²⁶ Ra	0,462	0,5	0,0005	924	38,9	35943,6	1797
²²⁸ Ac	0,462	0,5	0,0005	924	17,4	16077,6	804
²²⁸ Th	0,462	0,5	0,0005	924	0	0	0
²³⁴ Th	0,462	0,5	0,0005	924	30,8	28459,2	1423
²²⁶ Ra*	0,462	0,5	0,0005	924	24,9	23007,6	1150
²³² Th*	0,462	0,5	0,0005	924	8,93	8251,32	413

6.4 lentelė. Asfalto 4 bandinio Fr 16, aktyvumo perskaičiavimas

Radionuklidas	Masė, kg	Tūris, l	Tūris , m ³	Tankis, kg·m ⁻³	Savitasis aktyvumas, Bq·kg ⁻¹	Tūrinis aktyvumas, Bq·m ⁻³	Aktyvumo tankis, Bq·m ⁻²
1	2	3	4	5	6	7	8
⁴⁰ K	0,429	0,5	0,0005	858	777	666666	33333
²⁰⁸ Tl	0,429	0,5	0,0005	858	6,29	5396,82	270
²¹² Pb	0,429	0,5	0,0005	858	17,5	15015	751
²¹² Bi	0,429	0,5	0,0005	858	23,4	20077,2	1004
²¹⁴ Pb	0,429	0,5	0,0005	858	21,3	18275,4	914
²¹⁴ Bi	0,429	0,5	0,0005	858	24,7	21192,6	1060
²²⁴ Ra	0,429	0,5	0,0005	858	11,4	9781,2	489
²²⁶ Ra	0,429	0,5	0,0005	858	43,6	37408,8	1870
²²⁸ Ac	0,429	0,5	0,0005	858	19	16302	815
²²⁸ Th	0,429	0,5	0,0005	858	67,8	58172,4	2909
²³⁴ Th	0,429	0,5	0,0005	858	39,6	33976,8	1699
²²⁶ Ra*	0,429	0,5	0,0005	858	29,9	25654,2	1283
²³² Th*	0,429	0,5	0,0005	858	10,06	8631,48	432

6.5 lentelė. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A11, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A11(8), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
0-3	^{226}Ra	0,34	20,1	28140	844
	^{137}Cs	0,34	9,3	13020	391
	^{228}Ac	0,34	36,4	50960	1529
	^{40}K	0,34	490	686000	20580
	^{208}Tl	0,34	10,3	14420	433
	$^{232}\text{Th}^*$	0,34	16,48	23072	692
3 - 6	^{226}Ra	0,432	23,1	32340	970
	^{137}Cs	0,432	8,2	11480	344
	^{228}Ac	0,432	38,3	53620	1609
	^{40}K	0,432	574	803600	24108
	^{208}Tl	0,432	10,5	14700	441
	$^{232}\text{Th}^*$	0,432	16,8	23520	706
6 - 9	^{226}Ra	0,462	26,2	36680	1100
	^{137}Cs	0,462	11,3	15820	475
	^{228}Ac	0,462	31,9	44660	1340
	^{40}K	0,462	532	744800	22344
	^{208}Tl	0,462	11,7	16380	491
	$^{232}\text{Th}^*$	0,462	18,72	26208	786
9 - 12	^{226}Ra	0,454	18,8	26320	790
	^{137}Cs	0,454	8,7	12180	365
	^{228}Ac	0,454	22,3	31220	937
	^{40}K	0,454	541	757400	22722
	^{208}Tl	0,454	9,7	13580	407
	$^{232}\text{Th}^*$	0,454	15,52	21728	652
12 - 15	^{226}Ra	0,4	19,7	27580	827
	^{137}Cs	0,4	5	7000	210
	^{228}Ac	0,4	23,2	32480	974
	^{40}K	0,4	563	788200	23646
	^{208}Tl	0,4	9,1	12740	382
	$^{232}\text{Th}^*$	0,4	14,56	20384	612
15 - 20	^{226}Ra	0,375	42,5	59500	2975
	^{137}Cs	0,375	8,8	12320	616
	^{228}Ac	0,375	8,3	11620	581
	^{40}K	0,375	593	830200	41510
	^{208}Tl	0,375	13,1	18340	917
	$^{232}\text{Th}^*$	0,375	20,96	29344	1467

6.5 lentelės tęsinys. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A11, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A11(8), atstumas nuo asfalto 20 m					
0 - 5	^{226}Ra	0,455	28,1	39340	1967
	^{137}Cs	0,455	9	12600	630
	^{228}Ac	0,455	33	46200	2310
	^{40}K	0,455	551	771400	38570
	^{208}Tl	0,455	9,1	12740	637
	$^{232}\text{Th}^*$	0,455	14,56	20384	1019

*dirvožemio tankis ρ mėginiuose - nuo 1200 iki 1600 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, vidutinis tankis 1400, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

6.6 lentelė. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A6, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A6(1), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
0-3	^{226}Ra	0,34	14,9	20860	626
	^{137}Cs	0,34	8,9	12460	374
	^{228}Ac	0,34	16,8	23520	706
	^{40}K	0,34	325	455000	13650
	^{208}Tl	0,34	5,6	7840	235
	$^{232}\text{Th}^*$	0,34	8,96	12544	376
3 - 6	^{226}Ra	0,419	8,8	12320	370
	^{137}Cs	0,419	8,4	11760	353
	^{228}Ac	0,419	22,5	31500	945
	^{40}K	0,419	343	480200	14406
	^{208}Tl	0,419	7,8	10920	328
	$^{232}\text{Th}^*$	0,419	12,48	17472	524
6 - 9	^{226}Ra	0,45	15,3	21420	643
	^{137}Cs	0,45	7,4	10360	311
	^{228}Ac	0,45	20,1	28140	844
	^{40}K	0,45	417	583800	17514
	^{208}Tl	0,45	5,2	7280	218
	$^{232}\text{Th}^*$	0,45	8,32	11648	349
10 - 15	^{226}Ra	0,454	14,6	20440	1022
	^{137}Cs	0,454	8,9	12460	623
	^{228}Ac	0,454	6,9	9660	483
	^{40}K	0,454	345	483000	24150
	^{208}Tl	0,454	5,9	8260	413
	$^{232}\text{Th}^*$	0,454	9,44	13216	661

6.6 lentelės tęsinys. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A6, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A6(1), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
15 - 20	^{226}Ra	0,954	14,3	20020	1001
	^{137}Cs	0,954	5,6	7840	392
	^{228}Ac	0,954	21,2	29680	1484
	^{40}K	0,954	350	490000	24500
	^{208}Tl	0,954	5,9	8260	413
	$^{232}\text{Th}^*$	0,954	9,44	13216	661
20 - 25	^{226}Ra	0,448	10,5	14700	735
	^{137}Cs	0,448	3,5	4900	245
	^{228}Ac	0,448	21,2	29680	1484
	^{40}K	0,448	400	560000	28000
	^{208}Tl	0,448	5,9	8260	413
	$^{232}\text{Th}^*$	0,448	9,44	13216	661
Matavimo vieta A6(2), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
0 - 5	^{226}Ra	0,455	15,3	21420	1071
	^{137}Cs	0,455	1,5	2100	105
	^{228}Ac	0,455	8,8	12320	616
	^{40}K	0,455	343	480200	24010
	^{208}Tl	0,455	5,2	7280	364
	$^{232}\text{Th}^*$	0,455	8,32	11648	582
Matavimo vieta A6(2), atstumas nuo asfalto 20 m					
0-3	^{226}Ra	0,725	15,7	21980	659
	^{137}Cs	0,725	5,9	8260	248
	^{228}Ac	0,725	13	18200	546
	^{40}K	0,725	370	518000	15540
	^{208}Tl	0,725	5,8	8120	244
	$^{232}\text{Th}^*$	0,725	9,28	12992	390
3 - 6	^{226}Ra	0,716	20	28000	840
	^{137}Cs	0,716	2,5	3500	105
	^{228}Ac	0,716	14,4	20160	605
	^{40}K	0,716	394	551600	16548
	^{208}Tl	0,716	7	9800	294
	$^{232}\text{Th}^*$	0,716	11,2	15680	470
6 - 9	^{226}Ra	0,462	22,1	30940	928
	^{137}Cs	0,462	6,4	8960	269
	^{228}Ac	0,462	17,4	24360	731
	^{40}K	0,462	460	644000	19320
	^{208}Tl	0,462	5,6	7840	235
	$^{232}\text{Th}^*$	0,462	8,96	12544	376

6.6 lentelės tęsinys. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A6, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A6(2), atstumas nuo asfalto 20 m					
10 - 15	^{226}Ra	0,687	16,1	22540	1127
	^{137}Cs	0,687	5,2	7280	364
	^{228}Ac	0,687	22,9	32060	1603
	^{40}K	0,687	402	562800	28140
	^{208}Tl	0,687	7,8	10920	546
	$^{232}\text{Th}^*$	0,687	12,48	17472	874
15 - 20	^{226}Ra	0,371	25,6	35840	1792
	^{137}Cs	0,371	10	14000	700
	^{228}Ac	0,371	23,8	33320	1666
	^{40}K	0,371	380	532000	26600
	^{208}Tl	0,371	4	5600	280
	$^{232}\text{Th}^*$	0,371	6,4	8960	448
20 - 25	^{226}Ra	0,833	7,7	10780	539
	^{137}Cs	0,833	2,2	3080	154
	^{228}Ac	0,833	18,8	26320	1316
	^{40}K	0,833	320	448000	22400
	^{208}Tl	0,833	5,9	8260	413
	$^{232}\text{Th}^*$	0,833	9,44	13216	661
Matavimo vieta A6(3), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
0-3	^{226}Ra	0,557	14,4	20160	605
	^{137}Cs	0,557	1,5	2100	63
	^{228}Ac	0,557	16,3	22820	685
	^{40}K	0,557	290	406000	12180
	^{208}Tl	0,557	5,3	7420	223
	$^{232}\text{Th}^*$	0,557	8,48	11872	356
3 - 6	^{226}Ra	0,432	14,5	20300	609
	^{137}Cs	0,432	2,7	3780	113
	^{228}Ac	0,432	14,8	20720	622
	^{40}K	0,432	376	526400	15792
	^{208}Tl	0,432	4,5	6300	189
	$^{232}\text{Th}^*$	0,432	7,2	10080	302
6 - 9	^{226}Ra	0,777	12,3	17220	517
	^{137}Cs	0,777	1,8	2520	76
	^{228}Ac	0,777	5,2	7280	218
	^{40}K	0,777	370	518000	15540
	^{208}Tl	0,777	3,3	4620	139
	$^{232}\text{Th}^*$	0,777	5,28	7392	222

6.6 lentelės tęsinys. Dirvožemio mėginių, šalia magistralės A6, aktyvumo perskaičiavimas

Dirvožemio gylis, $\cdot 10^{-2}$ m	Radionuklidas	Masė, kg	Savitasis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	Tūrinis aktyvumas, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Aktyvumo tankis, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$
Matavimo vieta A6(3), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
10 - 15	^{226}Ra	0,454	11,2	15680	784
	^{137}Cs	0,454	2,2	3080	154
	^{228}Ac	0,454	4,2	5880	294
	^{40}K	0,454	277	387800	19390
	^{208}Tl	0,454	3,5	4900	245
	$^{232}\text{Th}^*$	0,454	5,6	7840	392
15 - 20	^{226}Ra	0,78	16,5	23100	1155
	^{137}Cs	0,78	2,4	3360	168
	^{228}Ac	0,78	9,3	13020	651
	^{40}K	0,78	384	537600	26880
	^{208}Tl	0,78	4,8	6720	336
	$^{232}\text{Th}^*$	0,78	7,68	10752	538
20 - 25	^{226}Ra	0,922	10,5	14700	735
	^{137}Cs	0,375	3,5	4900	245
	^{228}Ac	0,375	21,1	29540	1477
	^{40}K	0,375	400	560000	28000
	^{208}Tl	0,375	5,9	8260	413
	$^{232}\text{Th}^*$	0,375	9,44	13216	661
Matavimo vieta A6(6), atstumas nuo asfalto 7,5 m					
0 - 5	^{226}Ra	0,455	12,1	16940	847
	^{137}Cs	0,455	2,6	3640	182
	^{228}Ac	0,455	15	21000	1050
	^{40}K	0,455	278	389200	19460
	^{208}Tl	0,455	4,4	6160	308
	$^{232}\text{Th}^*$	0,455	7,04	9863	493

PUBLIKACIJOS BAIGIAMOJO DARBO TEMA

- 1A. D. Butkus, K. Gobytė. Lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralės A6 Kaunas - Zarasai tyrimas. // 7 — osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo - Lietuva be ateities“, įvykusios 2004 03 25, pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 2004, p.330-337.
- 2A. D. Butkus, K. Ž. Gaponovienė. Lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralių Lietuvoje matavimų ir modeliavimo rezultatai. // *Journal of Enviromental Engineering and Landscape Management*. 2005 (atiduota spaudai)

SKAITYTI PRANEŠIMAI BAIGIAMOJO DARBO TEMA

- 1A. D. Butkus, K. Gobytė. Lygiavertės dozės galios pažemio ore šalia magistralės A6 Kaunas -Zarasai tyrimas. // 7 - osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo -Lietuva be ateities“, įvykusios 2004 03 25, pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 2004, p. 330-337.

LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS PAŽEMIO ORE ŠALIA MAGISTRALĖS A6 KAUNAS-ZARASAI TYRIMAS

Magistrantė K. Gobytė, VGTU. Vadovas prof. habil. dr. D. Butkus

RESEARCH OF EQUIVALENT DOSE RATE IN THE GROUND-LEVEL AIR BY THE HIGHWAY A6 KAUNAS-ZARASAI

SUMMARY

The most widely spread natural radionuclides are from ^{238}U and ^{234}Th chain and ^{40}K . These radionuclides are found in building structure materials used in Lithuania, including road building. ^{137}Cs has no significant influence on equivalent dose rate in the ground-level air formation. Equivalent dose rate in the ground-level air formation is caused by: radionuclides in air, ground surface and cosmic radiation. ^{40}K is used in fertilizers. This exceeds natural ^{40}K amounts in soil.

The measurements of equivalent dose rate in the ground-level air were taken by the highway A6 Kaunas –Zarasai. The values obtained compared to average values assessed in these regions in 1997-2001. The factors affecting the equivalent dose rate in the ground-level air are considered, namely: road building materials, fertilizers and the dependency of values according to the distance from the highway (both sides of the road), the diversity of ground conformation and snow cover impact. Given data shows existing pollution by radioactive materials.

1. ĮVADAS

Nagrinėjama lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore, sukelta gama spinduliuotės. Svorinis daugiklis gama spinduliuotei, įvertinantis jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį, lygus vienetui, taigi LDG pažemio ore tapati sugertosios dozės galiai.

Radioaktyviųjų medžiagų šaltiniai yra dvejopo pobūdžio – gamtiniai ir antropogeniniai. Plačiausiai paplitę natūralios kilmės radionuklidai yra iš torio ir urano šeimos, bei kalis [1]. Jie randami statybinėse medžiagose naudojamose kelių tiesimui [2]. Pažemio ore lygiavertės dozės galią sąlygoja radionuklidų, esančių ore ir žemes paviršiuje, jonizuojančioji spinduliuotė bei kosminė spinduliuotė. Ženklią įtaką LDG pažemio ore vertei turi ^{40}K jonizuojančioji spinduliuotė [3], trąšose naudojamas ^{40}K didina natūralaus ^{40}K sankaupas dirvožemyje.

Išskiriami du svarbiausi užtaršos ^{137}Cs periodai: branduolinio ginklo bandymų metu (1945–1980 m.) ir 1986 m., po ČAE katastrofos. 1995 m. nustatyta, kad 90% ^{137}Cs yra viršutiniuose 0–5 cm gylio dirvožemio sluoksniuose [4]. Lietuvos dirvožemiuose 0–5 cm sluoksnyje 1991–1992 m. ^{137}Cs vidutiniškai sudarė $(85 \pm 7) \%$ [5]. LDG pažemio ore ^{137}Cs savitasis aktyvumas dirvožemyje didelės įtakos neturi [5,6].

Šiame darbe aptariami veiksniai turintys įtakos LDG pažemio ore šalia magistralės A6 Kaunas–Zarasai formavimuisi: kelių tiesimas, sniego dangos storis, kuris įtakoja ^{222}Rn ekshalicijos iš grunto intensyvumo kitimą [7,8], atstumas nuo asfalto. Pagal gautus rezultatus galima spręsti apie esamą užtaršą radioaktyviosiomis medžiagomis.

Darbo tikslas: nustatyti LDG pažemio ore vertes šalia magistralės A6 Kaunas – Zarasai, įvertinti šių verčių kaitos priežastis.

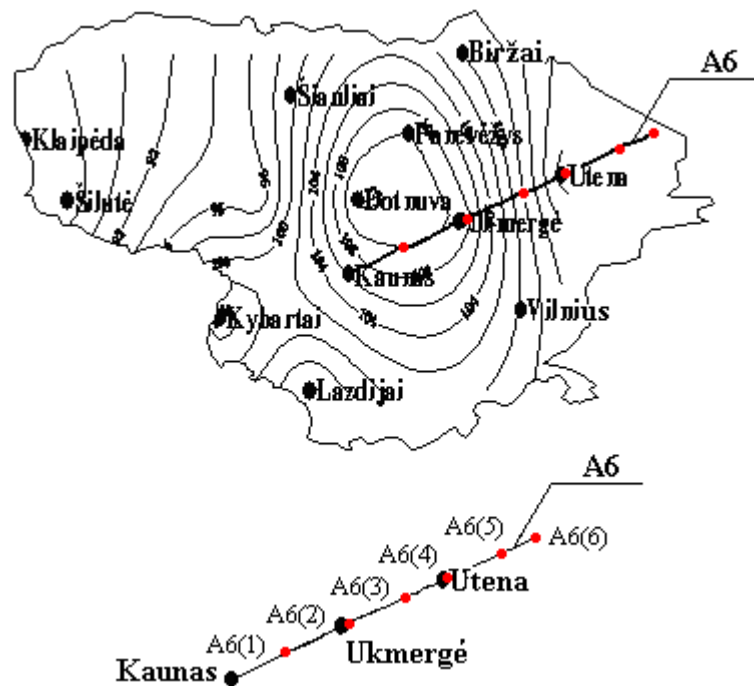
2. TYRIMO METODIKA

Šalia magistralės parinktos matavimo vietovės, esančios skirtingose landšaftinėse sąlygose. Matuojama gyvenviečių prieigose, taip pat skirtingo reljefo sąlygomis. Skersinį profilį sudaro 5 vietos, kurios nuo važiuojamosios kelio dalies nutolusios 7,5, 20, 50, 100, 150 m atstumu. Parenkami trys ruožai magistralių pakelių zonose, abiejose kelio pusėse.

Prietaisu SRP – 88 N matuojama LDG pažemio ore. Toje pat vietoje matuojama bent tris kartus iš eilės. Prietaiso paklaida 10%. Kiekvienai bandymų serijai nustatoma LDG pažemio ore vidutinė vertė, vidutinis kvadratinis nuokrypis.

Išmatuotos LDG pažemio ore vertės lyginamos su atitinkamomis vertėmis, fizikos instituto darbuotojų nustatytomis 1997–2001 m. regionuose, per kuriuos driekiasi magistralė [5].

1 pav. pateikiamas LDG pažemio ore pasiskirstymo žemėlapis ir magistralės trasos schema.



1. pav. Matavimo vietovių išsidėstymo schema Lietuvos žemėlapyje, izolinijomis pažymėtos LDG pažemio ore vertės, nustatytos 2001m., $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$

Iš 1 pav. duomenų matyti, kad magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai** yra šešios matavimo vietovės, pažymėtos simboliais A6(1) – A6(6). LDG pažemio ore vertės A6 magistralės regione, nustatytos [5] darbe, yra $90 - 110 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

3. TYRIMO REZULTATAI

Ekspedicija vyko **2004 m. sausio 12-13 d.** Ekspedicijos metu vyravusios meteorologinės sąlygos buvo šios: oro temperatūra kito nuo 0°C iki -3°C . Vėjo kryptis pietų, pietvakarių, vėjo greitis $6,0 - 6,7 \text{ m/s}$, santykinė oro drėgmė - 86% , atmosferos slėgis 744 mm Hg . Sniego danga magistralėje kito nuo 10 cm iki $24,5 \text{ cm}$.

Matavimo vietovės magistralėje:

A6 (1). Prieš Jonavą, 29 km nuo Kauno.

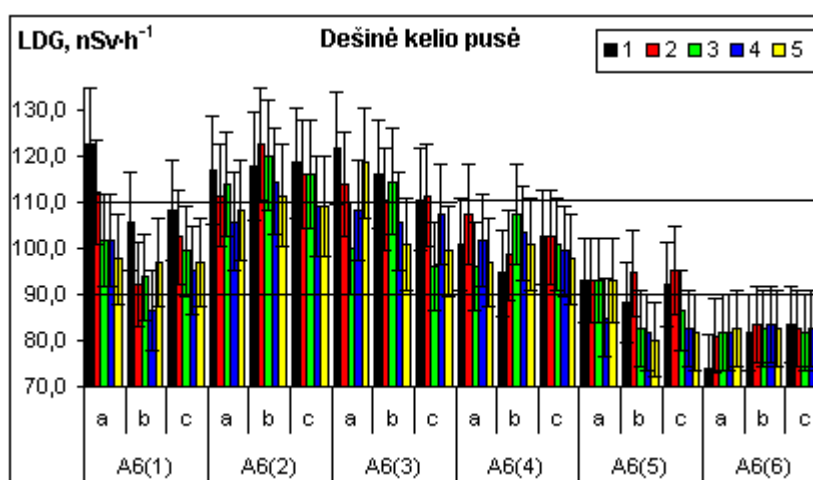
A6 (2). Pravažius Ukmergę, neprivažius viaduko. 70 km nuo Kauno.

A6 (3). Ties Skiemonimis, 109 km nuo Kauno.

A6 (4). Išvažius iš Utenos, 125m nuo Kauno.

A6 (5). Ties Degučių gyvenvieta, 166 km nuo Kauno.

A6 (6). Prieš Zarasus, 179 km nuo Kauno.



2. pav. Lygiavertės dozės galios pažemio ore vertės šalia magistralės **Kaunas–Zarasai** (dešinioji magistralės pusė, 2004 01 12–13): A6– vietovių žymėjimas; a, b, c – matavimo ruožai, statmeni kelio kryptčiai; matavimo vietos (atstumas nuo asfalto) ruožuose: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 1997–2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore (90 – 110 nSv·h⁻¹)

2 pav. pateikiami šešių vietovių matavimų duomenys, nustatyti šalia magistralės. Didžiausios LDG pažemio ore vertės arčiausiai magistralės 7,5 m. atstume. A6(3) a ruože 150 m. atstume LDG pažemio ore vertė yra panašaus dydžio kaip 7,5 m. atstume.

Lygiavertės dozės galios vertės, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria. Tai reiškia, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys.

Žiemos ekspedicijos metu nustatytieji lygiavertės dozės galios duomenys apibendrinti 1 lentelėje.

1 lentelė. Žiemos ekspedicijos metu nustatytų lygiavertės dozės galios verčių statistiniai duomenys

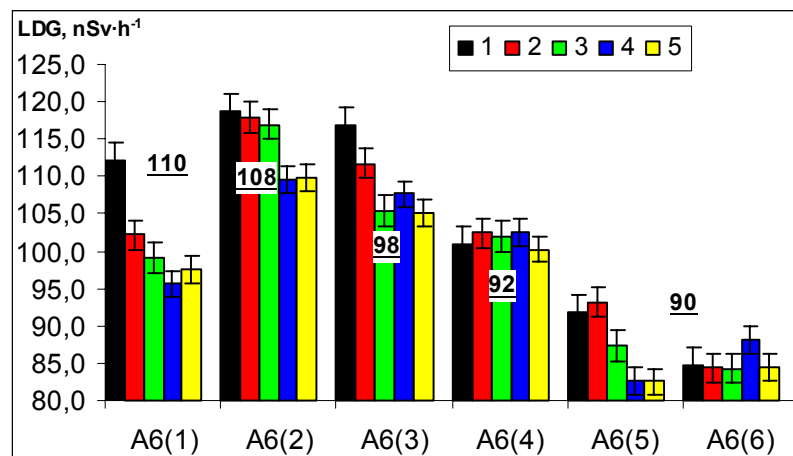
Statistinis parametras	Atstumas nuo asfalto dangos				
	7,5 m	20 m	50 m	100 m	150 m
Vidutinė vertė, nSv · h ⁻¹	104,2	102,0	99,2	97,7	96,6
Mažiausioji vertė, nSv · h ⁻¹	73,8	81,0	81,8	81,0	78,6
Didžiausioji vertė, nSv · h ⁻¹	122,7	122,7	120,3	114,7	118,7
Mediana, nSv · h ⁻¹	105,1	102,7	99,5	101,1	97,9
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, nSv · h ⁻¹	2,3	2,0	2,0	1,8	1,8
Bandinių skaičius	36	36	36	36	36

Iš 1 lentelės duomenų matyti, kad 7,5 metrų atstumu vidutinė LDG pažemio ore vertė yra didžiausia, tačiau 7,5 ir 20 metrų atstume išmatuotos vidutinės LDG vertės paklaidų ribose nesiskiria, bet jos yra didesnės, nei vertės, gautos matuojant toliau nuo asfalto dangos.

2 lentelė. Matavimo vietovių duomenys

Vietovė	Atstumas nuo Kauno, vietovė	Skersinio profilio koordinatės		Aukštis virš jūros lygio, m	Sniego danga, cm	LDG pažemio ore vertės, 2001 m. 2004 m.
A6(1)	29,5 km, Jonava	55°03'52"	24°16'44"	46	13,5	110 101
A6(2)	72 km, Ukmergė	55°16'04"	24°48'24"	66	11,5	108 115
A6(3)	108,5 km, ties Skiemonimis	55°26'05"	25°15'20"	130	10,0	98 109
A6(4)	134 km, Utena	55°30'34"	25°38'08"	124	15,0	92 102
A6(5)	166 km, Degučiai	55°39'35"	26°03'21"	124	18,0	90 87
A6(6)	179 km, prieš Zarasus	55°43'04"	26°13'20"	126	24,5	90 85

Kaip matome iš 2 lentelės duomenų, sniego dangos storis magistralėje yra labai įvairus. Kinta nuo 10,0 iki 24,5 cm. Didelis sniego dangos storis galėjo turėti įtakos LDG vertėms pažemio ore. Mažiausias sniego dangos storis, išmatuotas A6(2) ir A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse, atitinkamai yra 10 cm ir 11,5 cm. Šiose vietovėse gautos vertės viršija 2001 m. nustatytas tose vietovėse ir vidutinę magistralės vertę $100 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Sniego danga apsunkina jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė. Matavimus būtina atlikti vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos.



3 pav. Vidutinės (visų trijų ruožų) lygiavertės dozės galios pažemio ore vertės šalia magistralės A6 **Kaunas–Zarasai**: A6(1) – vietovė ir joje numatyta matavimo vieta; matavimo vietų atstumai nuo asfalto: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m; „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose ekstrapoliuojant matavimo vietai, 1997–2001m. nustatytą vidutinį lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore.

Kiekvienai vietai atskirai nustačius regioninį LDG pažemio ore lygį, A6(2), A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse, vidutinės tų vietovių LDG vertės viršija nustatytas 1997 – 2001m. vertes, A6(2) ir A6(3) simboliu pažymėtose vietovėse (7,5 ir 20 m. atstume nuo asfalto) vidutinis LDG pažemio ore lygis viršija didžiausią nustatytą vertę 110 nSv·h⁻¹ magistralėje.

IŠVADOS

1. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės matavimo vietose yra artimos paklaidų ribose vidutinėms vertėms, nustatytoms tuose regionuose Lietuvoje 1997–2001 m. (90 –110 nSv·h⁻¹).
2. LDG vertės pažemio ore, tolstant nuo asfalto dangos, mažėja. 7,5 ir 20 metrų atstumu nuo asfalto, vidutinės visos magistralės LDG vertės paklaidų ribose nesiskiria, bet jos yra didesnės, nei vertės, gautos matuojant toliau nuo asfalto dangos.
3. LDG vertės pažemio ore, išmatuotos 7,5 m, 20 m, 50 m, 100 m ir 150 m atstumuose nuo asfalto dangos dešiniojoje ir kairiojoje magistralės pusėse, paklaidų ribose nesiskiria. Tai rodo, kad spinduliuotės šaltiniai yra tos pačios prigimtys.
4. Sniego dangos storis galėjo turėti įtakos LDG pažemio ore vertėms, todėl matavimus būtina atlikti ir vasaros sezono metu, kai nebus sniego dangos.

5. Lygiavertės dozės galios vidutinės (visų trijų ruožų) vertės pažemio ore A6(2), A6(3) ir A6(4) simboliu pažymėtose vietovėse, viršija LDG pažemio ore vertes, nustatytas 1997–2001m. A6(2) simboliu pažymėtoje vietovėje vidutinis LDG pažemio ore lygis viršija didžiausią nustatytą vertę $110 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ magistralėje.

LITERATŪRA

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. Volume I. United Nations, vol. 29, 2000, p. 105-107.
2. D. Butkus, L. Pilkytė. Statybinės medžiagos kaip apšvitos šaltinis // 6 – osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios 2003 03 20, pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 2003, p. 198-204.
3. Lebedytė M., Butkus D., Morkūnas G. Estimation of external equivalent gamma dose rate caused by gamma radionuclides in soil // Environmental and Chemical Physics. 1999, vol. 21, No3, p.78-82.
4. Antonopoulos-Domis M., Clouvas A., Xanthos S. Radiocesium contamination in a sub-mediterranean seminatural ecosystem following the Chernobyl accident: measurements and models. // Health Physics, vol. 72, 1997, p. 243-255.
5. Lebedytė M. Gama spinduliuotės intensyvumo laukų pažemio ore ir jų kaitos Lietuvoje tyrimai. Daktaro disertacija, 2001, 103 p.
6. Butkus D. The consequences of the Chernobyl accident in Lithuania. Lithuania's environment: status, processes, trends// Environmental Protection Ministry of the Republic of Lithuania, 1995, p.110-117.
7. Dorr H., Munnich K. O. Concentration profiles in West Germany. Soil ^{222}Rn as tracer for gas transport in the unsaturated soil zone// Tellus, vol. 428, 1990, p. 20-28.
8. Fleischer R. L. Moisture and ^{222}Rn emanation// Health Physics, vol. 52, 1987, p. 797-799.

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

D. Butkus¹, K. Ž. Gaponovienė¹

¹ *Aplinkos apsaugos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva*

Santrauka. Nagrinėjama gama spinduliuotės sukelta lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore. Gama spinduliuotės svorinis daugiklis lygus vienetui, taigi LDG pažemio ore tapati sugertosios dozės galiai. Straipsnyje įvardinti ir išanalizuoti pagrindiniai parametrai lemiantys LDG pažemio ore šalia Lietuvos magistralių. Išmatuotos LDG pažemio ore vertės šalia Lietuvos magistralių palygintos su modeliavimo rezultatais, įvertinant verčių kaitos priežastis.

Ekspedicijų metu žiemą ir vasarą nustatytos LDG pažemio ore vertės nagrinėjamose 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. Kosminės spinduliuotės įnašas į LDG formavimąsi yra vienodas visoms nagrinėtoms vietovėms. Didžiausią įtaką turi dirvožemyje esančių gamtinės kilmės radionuklidų gama spinduliuotė.

Modeliavimo programa VISIPLAN nustatyta radionuklidų, esančių asfalto dangoje, spinduliuotės įtaka LDG formavimui pakelės zonoje. Modeliavimo programa InterRAS nustatyta LDG pažemio ore formuojama dirvožemyje esančių radionuklidų spinduliuotė.

Raktažodžiai: lygiavertė dozės galia (LDG) pažemio ore, gama spinduliuotė, radionuklidas, gama spektrometriniai tyrimai, modeliavimo programa VISIPLAN, modeliavimo programa InterRAS.

1. Įvadas

Radionuklidų yra visur – statybinėse medžiagose, metale, plastmasėje, vandenyje, grunte ir maiste. Aplink mus ir mums. Gamtiniai radionuklidai atsirado kartu su Visata, tai mūsų planetos dalis [1]. Aplinkoje yra natūralios ir dirbtinės kilmės radionuklidų, kurie skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę. Radionuklidų skleidžiama spinduliuotė formuoja lygiavertę dozės galią (LDG) pažemio ore. LDG pažemio ore lemia radionuklidų, esančių ore ir žemės paviršiuje jonizuojančioji spinduliuotė, bei kosminė spinduliuotė [2]. Iš gamtinių radionuklidų ⁴⁰K savitasis aktyvumas dirvožemyje yra didžiausias [3]. Šiuo metu LDG pažemio ore, sukelta kosminės spinduliuotės laikoma pastovia ir šiaurės pusrutulyje jūros lygyje sudarančia 32 nSv·h⁻¹ [4]. Lygiavertės dozės galia – svarbus parametras, atspindintis jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį žmogui [5].

Nagrinėjama gama spinduliuotės sukelta LDG pažemio ore. 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 kokia yra asfalto dangos medžiagose esančių radionuklidų spinduliuotė ir kokia tai sukelia LDG pažemio ore.

Darbe nustatytos LDG pažemio ore šalia magistralių vertės gali būti naudojamos kaip atskaitos sistemos vertės tiriant įvykius, susijusius su padidėjusia tarša tose vietovėse radioaktyviosiomis medžiagomis. Lyginant fonines ir po papildomos taršos nustatytos radioaktyviosiomis medžiagomis vertės, bus įmanoma nustatyti ne tik taršos mastus, bet ir radioaktyviųjų medžiagų kilmę, o pagal kilmę – taršos priežastis.

Šalia magistralių LDG pažemio ore kaitos priežastys gali būti skirtingos, negu tokių pat verčių susidarymo priežastys įvairiuose regionuose. Siekiama nustatyti pagrindines priežastis, lemiančias LDG kaitą šalia magistralių, taip pat ir kitimo ribas. LDG vertės pažemio ore šalia magistralių nustatomos eksperimentiškai ir lyginamos su vidutinėmis vertėmis, būdingomis regionui. Tokiu būdu nustatoma, kaip skiriasi LDG pažemio ore šalia magistralių nuo tame regione nustatytų verčių. Tyrimai atliekami žiemą ir vasarą, todėl rezultatai parodo lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore kaitą priklausomai nuo metų laiko.

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

2. Metodika

Žemiau pateikta metodika apima:

- LDG pažemio ore šalia magistralių tyrimą;
- radionuklidų savitųjų aktyvumų nustatymą dirvožemio ir asfalto mėginiuose;
- asfalto bandinių užterštumo radionuklidais vertinimą;
- LDG pažemio ore nuo asfalto dangos modeliavimą;
- LDG pažemio ore iš dirvožemio modeliavimą;

Ekspedicijų metu dozimetriniais tyrimais nustatoma LDG pažemio ore šalia magistralių A6 **Kaunas-Zarasai** ir A11 **Panevėžys-Šiauliai-Palanga**. Tyrimų rezultatai palyginami su kitų magistralių tyrimų rezultatais. Matavimo vietovės parinktos, esančios skirtingose landšaftinėse sąlygose.

Toje pat vietoje matuojama bent tris kartus iš eilės. Kiekvienai bandymų serijai nustatoma LDG pažemio ore vidutinė vertė, vidutinis kvadratinis nuokrypis.

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

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

Scintiliaciniu radiometru SRP – 88 N matuojama LDG pažemio ore. 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 25×40 mm.

Prietaisas patogus nepertraukiamam zondavimui, kadangi apie lygiavertės dozės galios kaitą galima spręsti pagal rodyklinį indikatorių, kuris reaguoja nepertraukiamai.

Galutinė rodmenų panaudojimo formulė yra:

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

Išmatuotasis rezultatas dalijamas iš 3,74 (kalibravimo koeficientas) ir dauginama iš 9 (perskaičiavimo $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ vienetais koeficientas).

Radionuklidų savitiesiems aktyvumams nustatyti radiometriškai tirti asfalto ir dirvožemio mėginiai. Ekspedicijų metu atlikti pakelės zonos LDG pažemio ore matavimai šalia Lietuvos magistralių, išskirtose magistralių vietovėse paimti dirvožemio mėginiai

radiologiniams tyrimams. Dirvožemio mėginiai tirti Fizikos institute. Dirvožemio mėginiai imti iki 25cm gylio, sluoksniais kas 3 ar 5cm. Asfalto mėginiai tirti Radiacinės saugos centre. Radiacinės saugos centre naudota gama spektrometrinė sistema su didelio švarumo germanio koaksialiniu detektoriumi GE3. Asfalto mėginiai prieš tyrimą susmulkinti. Mėginyje esančių gama radionuklidų savitųjų aktyvumų matavimui, mėginys sudėtas į matavimo kiuvetę, kurios tipui gama spektrometras yra sukalibruotas. Tyrimui naudojant Marinelli kiuvetę jautris yra didžiausias, ji tinka naudoti, kai mėginio yra pakankamai daug ir jo aktyvumas nėra labai didelis. Pasirinktos 500 ml Marinelli tipo kiuvetės. Jos pilnai užpildytos susmulkintu asfaltu.

Pagal gautus savitųjų aktyvumų rezultatus mėginiuose, pastebėta, kad pilnos pusiausvyros tarp ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi nėra, todėl ^{226}Ra pusiausvyrinis savitasis aktyvumas skaičiuotas kaip ^{226}Ra , ^{214}Pb ir ^{214}Bi vidurkis. Taip pat nėra pusiausvyros tarp ^{232}Th ir jo skilimo produkto ^{208}Tl savitojo aktyvumo. Jų savitojo aktyvumo santykis priimtas 1,6. [7]

Nustačius savituosius aktyvumus asfalto bandiniuose, atliekamas šių statybinių medžiagų užterštumo radionuklidais vertinimas, paremtas aktyvumo rodiklio skaičiavimu pagal HN 85:2003.

Aktyvumo rodiklis – tai bedimensinis dydis, naudojamas vertinant statybinių medžiagų ir statybos produktų užterštumą ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ir ^{137}Cs ir nustatomas sudedant šių radionuklidų savitųjų aktyvumų ir HN 85:2003 normoje nustatytų koeficientų santykius [8].

Be apribojimų ir bet kokiais kiekiais galima naudoti statybines medžiagas ir statybos produktus, jeigu aktyvumo rodiklis [8]:

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

čia: a_{Ra} , a_{Th} , a_K - ^{226}Ra , ^{232}Th ir ^{40}K savitieji aktyvumai, bekereliais kilogramui.

LDG pažemio ore nuo asfalto dangos modeliavimui naudojama VISIPLAN programa. Ši programa modeliuoja LDG ($\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$) nuo užduotų apšvitos šaltinių, kurie yra apriboti erdvėje geometriniais parametrais, taip pat nurodant juose esančių radionuklidų savituosius aktyvumus. Sudaryti keli skirtingos geometrijos modeliai.

Kiekvienam šaltiniui užduotas tikslumas 1000 taškų. Modeliavimo paklaida gali siekti iki 30%. Norint gauti tikslesnius rezultatus, reikėtų nustatyti didesnę tikslumą, užduoti daugiau taškų, bet tuomet vieno modelio apdorojimui programai gali prireikti kelių parų.

LDG pažemio ore, ekspedicijų metu, matuota šalia magistralių 1m atstumu nuo žemės paviršiaus. Taigi modeliuose horizontalus atstumas nuo šaltinio nurodytas 7,5m, o vertikalus atitinkamai 1m. Modeliuojamos LDG pažemio ore vertės lyginamos su išmatuotomis vertėmis.

LDG pažemio ore sąlygota dirvožemyje esančių radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės, modeliuojama naudojantis programa InterRAS. Modeliuojant su programa InterRAS gaunama LDG pažemio ore pagal dirvožemio mėginiuose esančių radionuklidų aktyvumus ploto vienetą. Tačiau tos pat vietovės LDG vertės nuo skirtingame gylyje esančių sluoksnių nėra tiesiog susumuojamos. Atsižvelgiant į spinduliuotės silpninimą, sumodeliuotos LDG pažemio ore vertės sumažintos, atsižvelgiant į ją formuojančio konkretaus radionuklido energiją ir į tai, koks dirvožemio sluoksnio storis ekranuoja spinduliuotę. Sluoksnio storis x atitinkamai nustatomas pagal tai, iš kokio gylio paimtas mėginys. Laikoma, kad mėginys 0-3 cm gylyje nėra ekranuojamas. Mėginiai iš kitų gylių ekranuojami dirvožemio: mažiausiai - 3cm, daugiausiai - 20cm [7]:

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

čia: I - spinduliuotės intensyvumas;

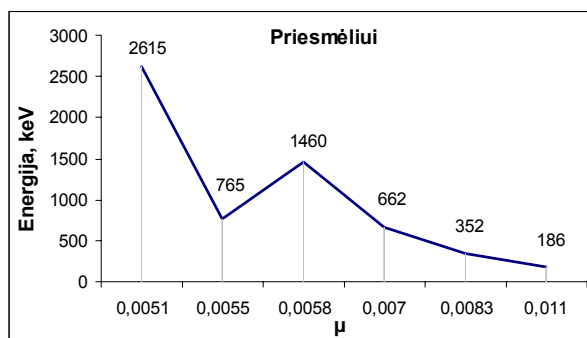
I_0 - spinduliuotės intensyvumas prieš dirvožemio sluoksnį;

μ - spinduliuotės silpninimo koeficientas;

x - dirvožemio sluoksnio storis.

Jonizuojančiajai spinduliuotei skverbiantis per gruntą, jos intensyvumas silpnėja. Modeliuojant LDG pažemio ore programoje InterRAS laikoma, kad visi radionuklidai yra dirvos sluoksnio paviršiuje. Todėl modeliuojant LDG pažemio ore vertes iš gilesnių nei 5 cm sluoksnių, reikia atsižvelgti į tai, kad dirva silpnina jonizuojančiąją spinduliuotę.

Dirva skirtingai sugeria radionuklidų jonizuojančiąją spinduliuotę. Jonizuojančiosios spinduliuotės silpninimo koeficientas priklauso nuo dirvožemio tipo, sluoksnio storio ir nuo radionuklido energijos.



1 pav. Koeficiento μ priklausomybė nuo energijos, priesmėliui

Fig 1. Coefficient μ dependency on energy, to sandyloam

Šiuo metu LDG pažemio ore, sukelta kosminės spinduliuotės laikoma pastovia ir šiaurės pusrutulyje jūros lygyje sudaranti 32 nSv·h⁻¹ [4].

LDG pažemio ore formuoja spinduliuotę nuo dirvos ir kosminės spinduliuotės, todėl šie dydžiai sudedami, taip

pat laikoma, kad 10% LDG pažemio ore verčių sudaro esančių ore ²¹⁴Pb ir ²¹⁴Bi jonizuojančioji spinduliuotė.

3. Rezultatai

Remiantis 2001m. sudarytu LDG pažemio ore verčių pasiskirstymo žemėlapiu [7], LDG vertės pažemio ore magistralių regionuose, nustatytos ekstrapoliuojant: magistralei A6 Kaunas-Zarasai 90-110 nSv·h⁻¹ ir magistralei A11 Šiauliai-Panevėžys-Palanga 86-110 nSv·h⁻¹.

Pagal žiemos ir vasaros ekspedicijų rezultatus magistralėse nagrinėjamas LDG pažemio ore pasiskirstymas. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės A6 matavimo vietose tiek vasarą tiek žiemą yra paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m. nustatytoms tuose regionuose atitinkamai 90 – 110 nSv·h⁻¹ magistralei. LDG vertės pažemio ore šalia magistralės A11 matavimo vietose vasarą yra paklaidų ribose yra artimesnės vidutinėms vertėms, 2001m. nustatytoms tuose regionuose atitinkamai 86 – 110 nSv·h⁻¹ A11 magistralei, negu žiemą.

Vidutinės LDG vertės pažemio ore magistralėse A6 ir A11 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos. A6 magistralėje - žiemą 3 %, vasarą 2%, atitinkamai A11 magistralėje žiemą 1 %, vasarą 2%.

Vidutinės lygiavertės dozės galios ore prie žemės paviršiaus vertės magistralėse, priklausomai nuo atstumo iki asfalto dangos mažėja tiek žiemą, tiek vasarą. Didžiausia vidutinė vertė yra 7,5 m atstume nuo asfalto.

A11 magistralės matavimo vietovėse, LDG pažemio ore vertės vasarą gautos vidutiniškai 13% didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkino jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ²²²Rn ekshaliaciją iš grunto ir tuo pačiu sumažino ore LDG vertes. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė ir žiemos metu arti magistralės matavimo vietose nebuvo lokalių radioaktyviosiomis medžiagomis taršos šaltinių.

Didžiausi LDG pažemio ore verčių skirtumai tarp matavimų 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, ne kitose matavimo vietovėse šioje magistralėje, galima teigti, kad žiemą sniego danga susilpnino jonizuojančiosios spinduliuotės sklaidimą iš grunto.

Radiometrinių tyrimų rezultatai rodo, kad aktyvumo rodikliai I tirtuose asfalto mėginiuose mažesni už vienetą. Remiantis HN 85:2003, statybinės medžiagos ir statybos produktai, atitinkantys 1 punkto reikalavimus $I < 1$, yra pirmos klasės, todėl juos galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais. Asfalto bandiniuose su 16 frakcijos skaldele aktyvumo rodikliai apie 33% didesni už aktyvumo rodiklius, asfalte su 11 frakcijos skaldele.

1 lentelė. Radiometrinio dirvožemio ir asfalto duomenų palyginimas

Table 1. Radiometric soil and asphalt results

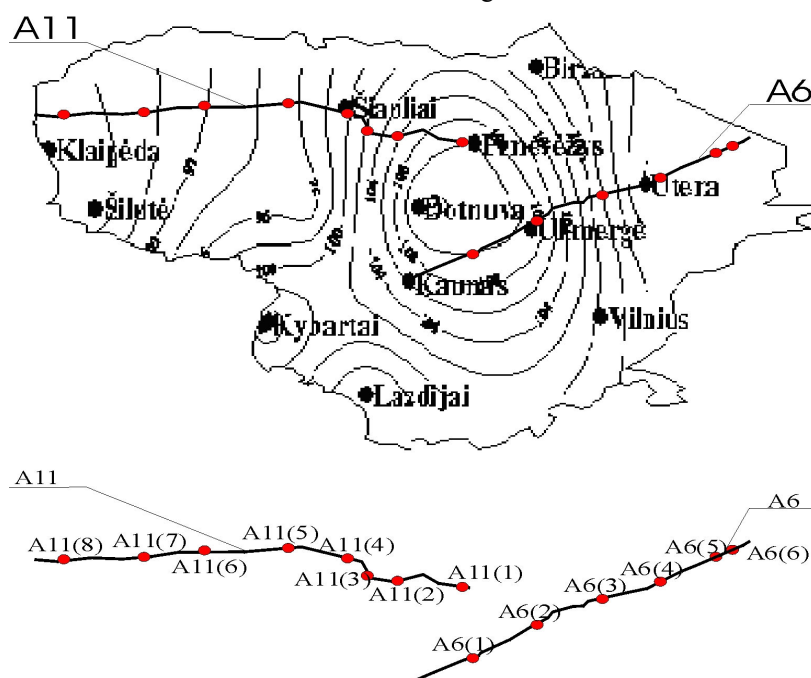
Radionuklidai	Dirvožemio vidutinis savitasis aktyvumas Lietuvoje, Bq·kg ⁻¹	Savitasis aktyvumas tirtuose dirvožemio mėginiuose, Bq·kg ⁻¹				Savitasis aktyvumas tirtuose asfalto mėginiuose, Bq·kg ⁻¹			
		A6(1)	A6(2)	A6(3)	A11(8)	1 bandinys Fr 11	2 bandinys Fr 11	3 bandinys Fr 16	4 bandinys Fr 16
²²⁶ Ra	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				

Išmatuoti savitieji aktyvumai asfalto bandiniuose rodo, kad ²²⁶Ra savitasis aktyvumas kelio dangoje 130% didesnis, negu ²²⁶Ra vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje. ⁴⁰K savitasis aktyvumas kelio dangoje, pusėje tirtų mėginių apie 43% didesnis, negu vidutinis ⁴⁰K savitasis aktyvumas dirvožemyje. Dirbtinių radionuklidų asfalto dangoje nebuvo aptikta.

Radionuklido ²²⁶Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1), A6(2) ir A6(3) viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Šalia A6(1) apie 19%, šalia A6(2) apie 59% ir šalia A6(3) apie 20%. Radionuklido ²⁰⁸Tl savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1) apie 2% viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Radionuklidų ²²⁶Ra, ²⁰⁸Tl ir ⁴⁰K savitieji

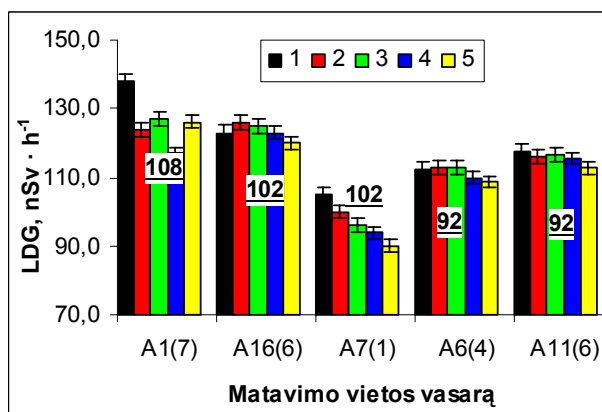
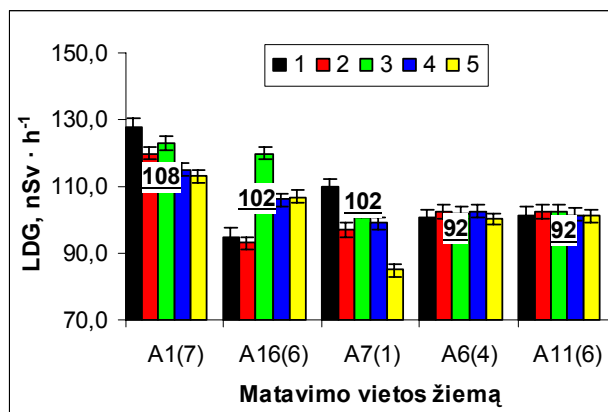
aktyvumai dirvožemyje, šalia A11(8) viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ²²⁶Ra apie 136%, ²⁰⁸Tl apie 83% ir ⁴⁰K apie 2%. Nustatytųjų savitųjų aktyvumų vertės dirvožemyje rodo dirvožemio sudėties savitumą magistralių matavimo vietose.

Iš 2 pav. matyti, kad magistralėje A6 **Kaunas–Zarasai** yra šešios LDG pažemio ore matavimo vietovės: A6(1) Jonava, A6(2) Ukmergė, A6(3) ties Skiemenimis, A6(4) Utena, A6(5) Degučiai, A6(6) prieš Zarasus; o magistralėje A11 **Panevėžys – Šiauliai** – **Palanga** yra aštuonios matavimo vietovės: A11(1) Berčiūnai, A11(2) Šeduva, ties Baukais, A11(3) Pravažius, Radviliškį, A11(4) Prieš Šiaulius, Aleksandriją, A11(5) Kuršėnai, A11(6) Prieš Telšius, Degaičiai, A11(7) Prieš Plungę, Babrungas, A11(8) Kretinga.



2 pav. Matavimo vietovių schema Lietuvoje, izolinijomis pažymėtos LDG vertės, nustatytos 2001m., nSv·h⁻¹ [7]

Fig 2. Scheme of measurement points in Lithuania, EDR isolines in 2001, nSv·h⁻¹ [7]



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

Fig 3. Average EDR values in the ground level air by the highways in winter and summer: A1(7) – measurement point; distance to asphalt: 1 – 7,5 m; 2 – 20 m; 3 – 50 m; 4 – 100 m; 5 – 150 m. „–“ – line meaning defined average EDR level in the ground air due to izolines in 2001

Matavimai atlikti šalia A6 Kaunas – Zarasai ir A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga magistralių. Gautos LDG pažemio ore vertės lyginamos su vertėmis šalia kitų Lietuvos magistralių.

Atrinktos penkios matavimo vietos, šalia Lietuvos magistralių, kuriose nustatytos LDG pažemio ore vertės didesnės, negu kitose magistralių vietose. **A1(7)** Vilnius – Kaunas – Klaipėda magistralėje A1; Kauno apskrityje, ties Sargėnais, 102 km nuo Vilniaus. **A16(6)** Vilnius – Prienai – Marijampolė magistralėje A16; Kauno apskrityje, ties Iglauka, 117 km nuo Vilniaus. **A7(1)** Marijampolė – Kybartai magistralėje A7; ties Gižais, 149 km nuo Vilniaus. **A6(6)** magistralėje A6; Išvažiavus iš Utenos, 125 km nuo Kauno. **A11(6)** magistralėje A11; Prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje, 102 km nuo Vilniaus.

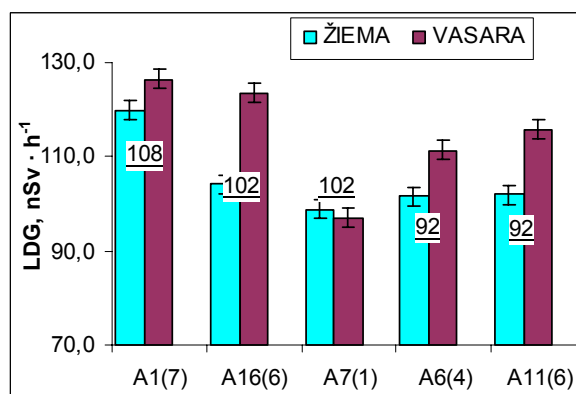
Nustatytosios LDG pažemio ore vertės yra lyginamos su vertėmis, Fizikos instituto darbuotojų [7] nustatytomis 2001 m. regione ir ekstrapoliuojant matavimo vietai pagal izolinijas.

Vilnius – Kaunas – Klaipėda magistralės A7(1) ir Marijampolė – Kybartai magistralės A1(7) simboliu pažymėtose vietovėse didžiausios LDG pažemio ore vertės nustatytos 7,5 metrų atstumu nuo kelio tiek žiemą, tiek vasarą. Žiemą 7,5 atstume nuo kelio, LDG vertės pažemio ore A7(1) 11% ir A1(7) 22% didesnės už tolesniuose atstumuose gautų verčių vidurkį. Vasarą didesnės atitinkamai 14% ir 18%. Likusiose vietovėse verčių skirtumas tostant nuo asfalto nėra toks didelis.

Magistralėje Vilnius – Kaunas – Palanga, A7(1) vietovėje nustatytos LDG vertės pažemio ore yra didžiausios lyginant su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat didelės vertės A16(6) vietovėje; jos apie 10% didesnės, nei A7(1), A6(4) ir A11(6) nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtos vietovės yra Kauno rajone. 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%.

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



4 pav. Vidutinės LDG pažemio ore vertės magistralėse žiemą ir vasarą. „–“ – linija, reiškianti matavimo regionuose 2001m. nustatytą vidutinę lygiavertės dozės galios lygį pažemio ore

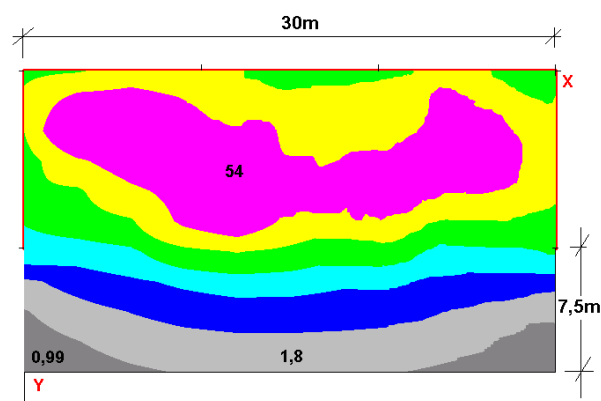
Fig 4. Average EDR values in the ground level air by the highways in winter and summer. „–“ – line meaning defined average EDR level in the ground air due to izolines in 2001

Vasarą 2001 m. nustatytus vidutinius LDG lygius pažemio ore konkrečioms vietovėms, daugiausia viršija 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 pažymėtoji vietovėje, prieš Telšius, Degaičių gyvenvietėje nustatytos LDG vertės pažemio ore vidutiniškai 18,3 % viršija regione nustatytą lygį.

Modeliuojama radionuklidų, esančių kelio tiesimo dangoje formuojamos LDG pažemio ore, įtaka pakelės zonai. Naudojama VISIPLAN programa. Šio modeliavimo tikslas yra nustatyti ar asfalto dangoje esantys radionuklidai gali būti priežastimi to, kad vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje A6 magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos. Žiemą 3 %, vasarą 2%. A11 magistralėje atitinkamai žiemą 1%, vasarą 2%.

Visuose modeliuose LDG pažemio ore formavimo šaltiniu laikoma tik asfalto danga. Visos pateiktos vertės sumodeliuotos nuo vieno šaltinio – asfalte esančių radionuklidų gama spinduliuotės. Čia nėra įskaitomas nei kosminės spinduliuotės, nei grunte ar pažemio ore esančių radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės įnašas.

5 pav. pateikiama LDG pažemio ore sklaida, tolstant nuo asfalto dangos. Čia pateikiamas vienas iš nagrinėtų modelių. Modeliuojama asfalto danga su 16 frakcijos skaldele. Radionuklidų savitieji aktyvumai asfalto dangoje: ^{40}K - $777 \pm 7,2 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{232}Th - $10,06 \pm 13,9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, ^{226}Ra - $29,9 \pm 6,4 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Magistralės atkarpos ilgis 30m.



5 pav. LDG pažemio ore pasiskirstymas 1m virš žemės paviršiaus

Fig 5. EDR in the ground air 1m above ground surface

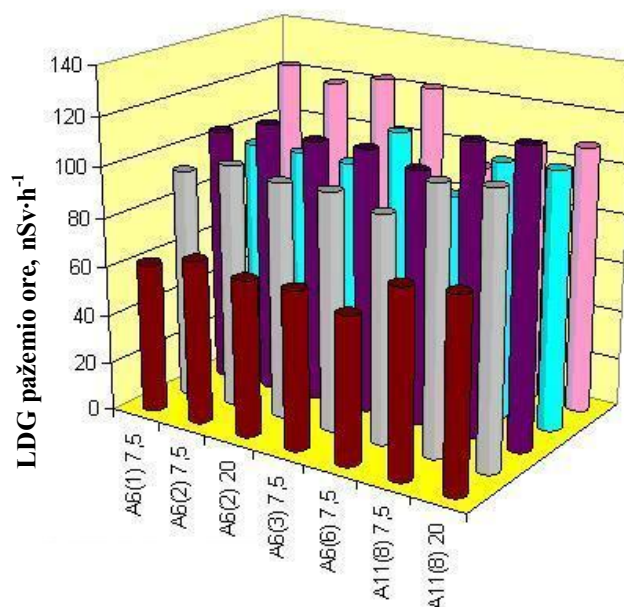
Minimali LDG pažemio ore vertė $0,99 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$, vertė gauta 7,5 m atstumu nuo asfalto dangos $1,8 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$, maksimali vertė $54 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ gauta 1m virš asfalto dangos, vidutinė vertė visame nagrinėjamame plote $27 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

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

Radionuklidai esantys asfalto dangoje galėjo lemti, tai kad išmatuota dozės galia pažemio ore 7,5m atstumu nuo asfalto 2% procentais didesnė, negu dozės galia tolimesniuose atstumuose.

Modeliavimo InterRAS programa rezultatai lyginami su matavimo rezultatais. Pagal modeliavimo rezultatus, magistralės A6 Kaunas – Zarasai nagrinėjamose vietovėse LDG pažemio ore, formuojama dirvožemyje esančių radionuklidų ir kosminės spinduliuotės yra vidutiniškai 12% mažesnė, nei magistralės A11 Panevėžys – Šiauliai – Palanga nagrinėjamose vietovėse. Pagal matavimo rezultatus, magistralės A6 vietovėse LDG pažemio ore vasarą vidutiniškai taip pat 12% mažesnė (neįskaitant A6(3)), negu A11 magistralės nagrinėjamose vietovėse.

Taigi, dirvožemyje esančių radionuklidų gama spinduliuotė yra pagrindinė LDG pažemio ore formavimosi priežastis. LDG pažemio ore dydis priklauso nuo dirvožemio savitumo. LDG pažemio ore 12% verčių skirtumą A11 ir A6 magistralių vietovėse lėmė skirtingas dirvožemis. Tirtuose bandiniuose dirbtinių radionuklidų neaptikta, išskyrus ^{137}Cs . Šio radionuklido indėlis į LDG pažemio ore yra menkas ir gali būti nepaisomas.



Matavimo vietovės ir atstumai nuo asfalto, m

- iš dirvožemio
- iš dirvožemio ir iš kosmoso
- iš dirvožemio, kosmoso ir ^{214}Pb ir ^{214}Bi
- jonizuojančiosios spinduliuotės ore
- žiemą
- vasarą

6 pav. LDG pažemio ore modeliavimo ir matavimo verčių palyginimas

Fig 6. EDR in the ground air modeling and compare or results

Modeliuojant gautos LDG pažemio ore vertės, lyginant su išmatuotomis vertėmis paklaidų ribose yra artimos. A6 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes ir 7% mažesnės už vasarą išmatuotas vertes. A11 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes.

4. Išvados

15. LDG vertės pažemio ore šalia magistralių matavimo vietose tiek vasarą tiek žiemą paklaidų ribose yra artimos vidutinėms vertėms, 2001m. nustatytoms tuose regionuose, atitinkamai 90 – 110 nSv·h⁻¹ A6 magistralei ir 86 – 110 nSv·h⁻¹ A11 magistralei.

16. Vidutinės LDG vertės pažemio ore visoje A6 magistralėje 7,5 ir 20 metrų atstumuose nuo asfalto, paklaidų ribose nesiskiria, bet kartu jos yra didesnės, nei vertės, išmatuotos toliau nuo asfalto dangos: žiemą - 3 %, vasarą - 2%. A11 magistralėje atitinkamai žiemą - 1%, vasarą - 2%.

17. Didžiausi LDG pažemio ore verčių skirtumai tarp matavimų 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, ne kitose matavimo vietovėse šioje magistralėje, galima teigti, kad žiemą sniego danga silpnina jonizuojančiosios spinduliuotės sklaidimą iš dirvožemio.

18. Daugumoje nagrinėtų vietovių LDG pažemio ore vertės vasarą gautos didesnės, negu matuojant žiemos metu. Sniego danga apsunkina jonizuojančiąją spinduliuotę iš žemės paviršiaus - ²²²Rn ekshalaciją iš dirvožemio ir tuo pačiu sumažina ore LDG vertes. Iš to seka, kad išorinę apšvitos dozę, be kosminės spinduliuotės, formuoja radionuklidų, esančių dirvos paviršiniuose sluoksniuose, jonizuojančioji spinduliuotė ir žiemos metu arti magistralės matavimo vietose nebuvo lokalių radioaktyviosiomis medžiagomis taršos šaltinių.

19. Radionuklido ²²⁶Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1), A6(2) ir A6(3) viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Šalia A6(1) apie 19%, šalia A6(2) apie 59% ir šalia A6(1) apie 20%. Radionuklido ²⁰⁸Tl savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A6(1) apie 2% viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje. Tai rodo dirvožemio sudėties savitumą šiame regione.

20. Radionuklidų ²²⁶Ra, ²⁰⁸Tl ir ⁴⁰K savitieji aktyvumai dirvožemyje, šalia A11(8) viršija vidutinišias savitojo aktyvumo vertes Lietuvoje: ²²⁶Ra apie 136%, ²⁰⁸Tl apie 83% ir ⁴⁰K apie 2%. Tai rodo dirvožemio sudėties savitumą šiame regione. Tai turėjo įtakos LDG pažemio ore padidėjimui.

21. ²²⁶Ra savitasis aktyvumas asfalto dangoje 130% didesnis, negu ²²⁶Ra vidutinis savitasis aktyvumas dirvožemyje. ⁴⁰K savitasis aktyvumas asfalto dangoje, pusėje tirtų mėginių apie 43% didesnis, negu vidutinis ⁴⁰K savitasis aktyvumas dirvožemyje.

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

23. Modeliuojant gautos LDG pažemio ore vertės, lyginant su išmatuotomis vertėmis paklaidų ribose yra artimos. A6 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes ir

7% mažesnės už vasarą išmatuotas vertes. A11 magistralėje modeliuojant gautos vertės vidutiniškai 12% didesnės už žiemą išmatuotas vertes.

24. Asfalto dangos formuojama LDG pažemio ore priklauso nuo joje esančių radionuklidų savitųjų aktyvumų verčių, kurios priklauso nuo asfalto dangai naudojamos skaldos frakcijos. Bandiniuose su 16 frakcijos skaldele formuojama LDG pažemio ore 7,5m atstume nuo asfalto gali siekti iki 2% LDG verčių.

25. Magistralėje Vilnius – Kaunas – Palanga, A7(1) vietovėje nustatytos LDG vertės pažemio ore yra didžiausios lyginant su vertėmis, nustatytomis kitose nagrinėtose magistralėse. Taip pat didelės vertės A16(6) vietovėje; jos apie 10% didesnės, nei A7(1), A6(4) ir A11(6) nustatytųjų verčių vidurkis. Abi minėtos vietovės yra Kauno rajone.

26. 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

4. Pakeles apsodinti augaline danga ir taip sumažinti grunte esančių radionuklidų resuspensiją.

5. Pagal tirtų asfalto bandinių aktyvumo rodiklius, asfalto dangos medžiagas galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais.

6. Želdinius tręšiant mineralinėmis trąšomis, atsižvelgti į tai, kad ⁴⁰K jonizuojančioji spinduliuotė turi įtakos LDG pažemio ore formavimuisi.

Literatūra

1. Morkūnas, G. Radiacinė sauga? Tai visai paprasta. Radiacinės saugos centras, 2004. 191p.
2. Lebedytė, M.; Butkus, D. ²²²Rn skilimo produktų gama spinduliuotės sukelta lygiavertės 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. *Respublikinės mokslinės konferencijos pranešimai, Vilniaus universitetas, 2005 kovo 23d, 1p.*
http://www.hkk.gf.vu.lt/HKK_konf2005/konfmedz.pdf
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. Jonizuojančiosios spinduliuotės pokyčiai urbanizuotoje teritorijoje. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. XXI, No.2, 2004, p. 37-41
6. HN 73:2001, Pagrindinės radiacinės saugos normos. LR Sveikatos aps. ministerija, V.: 46 p.
7. Lebedytė M. Gama spinduliuotės intensyvumo laukų pažemio ore ir jų kaitos Lietuvoje tyrimai. Daktaro disertacija, 2001. 105 p.
8. HN 85:2003, Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos. LR Sveikatos aps. ministerija. V.: 2002. 24 p.

EQUIVALENT DOSE RATE VARIATION RESEARCH IN THE GROUND AIR BY THE LITHUANIAN HIGHWAYS

D. Butkus, K. Ž. Gaпонovienė

S u m m a r y

This research deals with equivalent dose rate (EDR) in the ground level air caused by gamma radiation. Weighting factor for gamma radiation is equal one, so EDR in the ground air is identical absorbed ionic radiation dose. In this article the main parameters determining the level of equivalent dose rate in the ground air by the Lithuanian highways have been defined and analyzed. EDR in the ground air by the Lithuanian highways was measured and compared to adequate average regional and with reference to modulation values evaluating variation reasons.

In the expeditions EDR in the ground air was measured in winter and in summer. Samples of soil and asphalt were examined with gamma spectrometer. There was determined the dependence of EDR in the ground air from soil composition, floral or snow cover and distance to the asphalt cover. Cosmic radiation impact on EDR formation is equal to all locations. Natural origin radionuclides in soil gamma radiation have the main influence to EDR formation in the ground air.

Modeling program VISIPLAN was used to define impact of radionuclides radiation in asphalt cover to EDR formation in the roadside zone. Modeling program InterRAS was used to define EDR in the ground air formation from gamma radiation of radionuclide in soil.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ИЗМЕНЕНИЕМ МОЩНОСТИ РАВНОЦЕННОЙ ДОЗЫ В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ ВОЗЛЕ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ ЛИТВЫ

Д. Буткус, К. Ж. Гапоновене

Р е з ю м е

Исследуется мощность равноценной дозы (МРД) порожденная гамма излучением. Весовой множитель гамма излучения равен единице, следовательно, МРД в приземном воздухе равна мощности поглощенной дозы. В статье указанные и исследованные главные параметры, определяющие МРД в приземном воздухе возле автомагистралей Литвы. Измеренные МРД в приземном воздухе возле автомагистралей Литвы сравнены с результатами моделирование, учитывая причины изменение значений МРД.

Во время экспедиций зимой и летом определены МРД в приземном воздухе в исследованных местностях. Была произведена гамма спектрометрия проб почвы и асфальта. Определено, что МРД в приземном воздухе зависит от состава почвы, покрова растительности или снега и расстояния до асфальта. Вклад космического излучения в формирования МРД в приземном воздухе одинаков во всех исследованных местностях. Главное влияние имеет гамма излучение радионуклидов природного происхождения.

С помощью программы моделирование VISIPLAN установлено влияние излучения радионуклидов в асфальте на формирования МРД в приземном воздухе придорожной зоны.

С помощью программы моделирование InterRAS установлено влияние излучения радионуклидов в почве на формирования МРД в приземном воздухе.

Ключевые слова: мощность равноценной дозы (МРД), гамма излучение, радионуклид, гамма спектрометрия, программы моделирование VISIPLAN, программы моделирование InterRAS.