



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
FIZIKOS KATEDRA

Mindaugas Lemežis

**LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS LAUKŲ STRUKTŪROS MAŽOMS
TERITORIJOMS NUSTATYMAS OPTIMALIOS INTERPOLIACIJOS
METODU**

**DETERMINATION OF STRUCTURAL FIELDS OF EQUIVALENT DOSE
RATE BY OPTIMUM INTERPOLATION METHOD FOR SMALL
TERRITORIES**

Baigiamasis magistro darbas

Technosferos ekologija, 62403B104

Technosferos ekologijos specializacija

Ekologijos ir aplinkotyros mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
FIZIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Mindaugas Lemežis

**LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS LAUKŲ STRUKTŪROS MAŽOMS
TERITORIJOMS NUSTATYMAS OPTIMALIOS INTERPOLIACIJOS
METODU**

**DETERMINATION OF STRUCTURAL FIELDS OF EQUIVALENT DOSE
RATE BY OPTIMUM INTERPOLATION METHOD FOR SMALL
TERRITORIES**

Baigiamasis magistro darbas

Technosferos ekologija, 62403B104

Technosferos ekologijos specializacija

Ekologijos ir aplinkotyros mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. Dmitrijus Styro _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas)
(Data)

Konsultantas _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
FIZIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Biomedicinos mokslo sritis
Ekologijos ir aplinkotyros mokslo kryptis
Ekologijos ir aplinkotyros studijų kryptis

Katedros vedėjas

Technosferos ekologijos.studijų programa, valstybinis kodas
62403B104.....specializacija

(Parašas)
Artūras Jukna
(Vardas, pavardė)
2009-05-25
(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**
2009 m. balandžio 22 d. Nr. 3-2009
Vilnius

Studentui (ei) Mindaugui Lemežiui.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema:

Lygiavertės dozės galios laukų struktūros mažoms teritorijoms nustatymas optimalios
interpoliacijos metodu

patvirtinta 2008 m. gruodžio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 690 fm

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2009 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti lygiavertės dozės galios matavimus prie Baltijos jūros kranto virš skirtingo grunto.
Susipažinti ir pritaikyti optimalios interpoliacijos metodą lygiavertės dozės galios laukų
struktūroms skaičiuoti esant įvairioms meteorologinėms sąlygoms. Įvertinti teorinio metodo
galimybę toms pačioms lygiavertės dozės galios laukų struktūroms skaičiuoti, mažinant
matavimo skaičių.

Vadovas
(Paraša)

prof. habil. dr. Dmitrijus Styro
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

Mindaugas Lemežis
(Vardas, pavardė)

.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Fundamentinių mokslų fakultetas

Fizikos katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk. 2

Data 2009-05-28

Technosferos ekologijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Lygiavertės dozės galios laukų struktūros mažoms teritorijoms nustatymas optimalios interpoliacijos metodu**

Autorius **Mindaugas Lemežis**

Vadovas prof. habil. dr. **Dmitrius Stvro**

Kalba



lietuvių



užsienio

Anotacija

Darbe nagrinėjamas lygiavertės dozės galios (LDG) laukų struktūros virš mažų teritorijų nustatymas optimalios interpoliacijos metodu, lygiavertės dozės galios laukų struktūros pokyčiai nuo meteorologinių sąlygų. Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės atlikti LDG matavimai prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje virš jos. Matavimai atlikti 2008 m. liepos 2, 7, 10 ir 12 dienomis 63 taškuose (2,0×0,2) km teritorijoje esant šiaurės, pietų, rytų ir vakarų vėjo kryptims. Vidutinių dydžių ekstremalios reikšmės buvo 50 nSv/h ir 130 nSv/h. LDG laukų struktūrai nustatyti ir įvertinti buvo panaudotas optimalios interpoliacijos metodas trim atvejams – kai tyrimų teritorijoje atlikta 63, 33 ir 18 matavimų. Gautos identiškos LDG laukų struktūros. Rasta, kad naudojant tik 18 matavimo rezultatų modelyje gaunamas patenkinamas eksperimentinių ir teorinių rezultatų sutapimas, t.y. skirtumas tarp išmatuotų ir sumodeliuotų rezultatų neviršija 20 % paklaidos.

Nustatyta, kad esant šiaurės, pietų ir vakarų vėjo kryptims, padidėjus vėjo greičiui vidutiniškai 3 kartus, LDG sumažėja apie 8 nSv/h. Esant rytų vėjui, padidėjus vėjo greičiui 3 kartus, LDG padidėja 7 nSv/h.

Darbą sudaro 3 dalys: įvadas, darbo metodai ir priemonės, išvados, literatūra.

Darbo apimtis – 58 p. teksto be priedų, 46 iliustr., 1 lent., 36 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai ir publikacija, parengta spaudai.

Prasminiai žodžiai: optimalioji interpoliacija, autokoreliacinė funkcija, lygiavertės dozės galia, lauko struktūra, radono skilimo produktai

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of Fundamental Sciences

The Department of Physics

ISBN

ISSN

Copies No. 2

Date 2009-05-28

The Master Thesis of ecology of technosphere

Title: **Determination of structural fields of equivalent dose rate by optimal interpolation method for small territories**

Author **Mindaugas Lemežis**

Academic supervisor **prof. habil. dr Dmitrijus Stvro**

Thesis language

☒

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

In this work equivalent dose rate (EDR) field structures under small area was estimated by applying optimal interpolation method and EDR fields structure differences was depended on meteorological conditions. EDR measurements were made to the ground surface and one meter above it beside Juodkrante near Baltic seaside. Measurements carried out in 2008 July 2, 7, 10 and 12 days, in 63 points (2.0 x 0.2) km area then was the north, south, east and west wind direction. Extreme values of the average was 50 nSv/h ir 130 nSv/h. To determine EDR fields structure was used the optimal interpolation method in three cases – then in research area conducted 63, 33 and 18 measurements. Received identical EDR fields structure. Found that the use of only 18 measurements in the model obtained satisfactory experimental and theoretical results coincide, i.e., the difference between measured and model results in less than 20 % errors.

Found that, in the north, south and west wind direction, wind speed increased by an average of 3 times, EDR decreases about 8 nSv/h. In the east wind, the wind speed increased by 3 times, EDR increased 7 nSv/h / h.

Structure: introduction, methods and tools of work, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 58 p. text without appendixes, 46 pictures, 1 tables, 36 bibliographical entries.

Appendixes and publication included.

Keywords: optimal interpolation, autocorrelation function, equivalent dose rate, field structure, radon decay products

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS.....	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
ĮVADAS.....	11
1. GAMTINĖS KILMĖS RADIONUKLIDŲ SUKELIAMA LDG PAŽEMIO ORE.....	13
1.1 Jonizuojančioji spinduliuotė.....	13
1.2.Natūralios kilmės radionuklidai aplinkoje.....	13
1.3 Gamtinė apšvita.....	18
1.4. Veiksniai, įtakojantys LDG pokyčius pažemio ore.....	20
1.5. Lygiavertės dozės galios pasiskirstymas Kuršių Nerijoje.....	20
2. DARBO METODAI IR PRIEMONĖS	23
2.1. Priemonės naudotos eksperimentui atlikti.....	23
2.2. LDG laukų struktūrų nustatymo metodas.....	23
3. REZULTATAI.....	27
3.1. LDG pažemio ore verčių pasiskirstymas priklausomai nuo vėjo krypties ir greičio.....	27
3.2 LDG laukų struktūros modeliavimas (prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje) naudojant simetrinį modelį.....	30
IŠVADOS.....	55
LITERATŪRA.....	56
PRIEDAI.....	59
PUBLIKACIJA.....	63

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

LDG – lygiavertės dozės galia

GPS – globalaus pozicionavimo sistema

WHO – World Health Organization – Pasaulio sveikatos organizacija

VAE – Visagino atominės elektrinės projektas Lietuvoje

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. LDG rezultatai pažemio ore esant įvairiam gruntui.....	11
3 priedas. LDG matavimo rezultatai (nSv/h) Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės 2008 m. liepos 2, 7, 10 ir 12 dienomis.....	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Spinduliuotės tipai skylančiam branduoliui.....	13
2 pav. Urano eilė.....	14
3 pav. Torio eilė.....	15
4 pav. Aktinio eilė.....	15
5 pav. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai.....	18
6 pav. Vidutinė gamtinė metinė žmonių apšvita (mSv).....	19
7 pav. Vidutinė gamtinė išorinė metinė žmonių apšvita (mSv).....	19
8 pav. Vidutinė gamtinė vidinė metinė žmonių apšvita (mSv).....	19
9 pav. LDG laukas ir reikšmių pasiskirstymas Kuršių Nerijoje.....	21
10 pav. LDG laukas ties Juodkrante.....	22
11 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant šiaurės krypties vėjui (2008.07.02)....	27
12 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant pietų krypties vėjui (2008.07.10).....	28
13 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant vakarų krypties vėjui (2008.07.12)....	29
14 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant rytų krypties vėjui (2008.07.07).....	29
15 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-02, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų... 31	31
16 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-02, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų.....	31
17 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	32
18 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	32
19 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T – teorija).....	33
20 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T – teorija).....	34
21 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T – teorija).....	35

22 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	36
23 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-10, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų...	37
24 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-10, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų.....	37
25 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-10, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	38
26 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-10, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	38
27 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	39
28 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	40
29 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	41
30 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	42
31 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-07, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų...	43
32 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-07, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų.....	43
33 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-07, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	44
34 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-07, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	44

35 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	45
36 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	46
37 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	47
38 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	48
39 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-12, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų...	49
40 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-12, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų.....	49
41 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-12, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	50
42 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-12, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų.....	50
43 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	51
44 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	52
45 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	53
46 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija).....	54
1 priedas. Tyrimų vietos žemėlapis.....	60
2 priedas. Struktūrinė tyrimų schema.....	61

IVADAS

Natūralios kilmės radionuklidai patenka į aplinką iš dirvožemio, taip pat susidaro sąveikaujant kosminiams spinduliams su oro molekulių branduoliais. Iš dirvožemio išsiskiria radonas ir jo skilimo produktai, kurie formuoja radioaktyviųjų medžiagų pagrindinę dalį atmosferos pažemio sluoksnyje (Radiacinės saugos centras 2004). Hidrosferoje natūralios prigimties radioaktyvumo pagrindinis šaltinis yra kalis-40 (Стыро 1968, Lebedytė et al. 2001, Lebedytė et al. 2003). Iki šiol egzistuoja dirbtinės kilmės globalios iškritos, kurios papildo bendrąjį aplinkos radioaktyvųjų foną (Стыро 1989).

Tačiau galimas neprognozuojamas radioaktyvusis poveikis, kuris gali ženkliai pakeisti esamą radioaktyviąją pusiausvyrą. Dėl šios priežasties būtina aplinkos radioaktyvumo kontrolė. Natūralu, kad tokia kontrolė turėtų būti vykdoma didelėse teritorijose, pavyzdžiui, Baltijos, Šiaurės jūrose, virš žemynų, regionų, atsižvelgiant į jų reljefą bei dirvožemio struktūras ir t.t. Tam tikslui reikia daug eksperimentinės informacijos apie esamą situaciją aplinkoje, taip pat apie jos pokyčius erdvėje ir laike bei jos prognozę (Стыра ir kt. 2009).

Per pastaruosius dešimtmečius buvo atlikta daugybė tyrimų apie ^{222}Rn koncentraciją atmosferoje (Martin et al. 2004, Zahorowski et al. 2004). Daug mažiau tyrimų buvo atlikta apie ^{222}Rn emanaciją iš žemės paviršiaus. (Guo et al. 2004, Bollhofer et al. 2006). ^{222}Rn emanacija yra sudėtingas reiškinys, kuris priklauso nuo daugelio parametrų: dirvožemio morfologijos, dirvožemio drėgnumo, meteorologinių sąlygų ir augmenijos (Conen 2004).

Eksperimentinės informacijos surinkimas didelėse teritorijose yra ilgalaikis ir brangus procesas. Todėl tai pačiai informacijai gauti esant mažesniai matavimų skaičiui naudojamas teorinis modelis–optimalioji interpoliacija. Šis modelis leidžia nustatyti elementų koncentraciją tose vietose, kur nebuvo atlikta matavimų, o taip pat skaičiavimo rezultatų paklaidą (Стыро 1989).

Šiame darbe imituojama jonizuojančiosios spinduliuotės situacija, kuri galima didelėse teritorijose, bet keliomis eilėmis sumažinta ir taikoma mažiems plotams.

Darbo tikslai:

1. Nustatyti eksperimentinį struktūrinį lauką gamtinės kilmės radionuklidų lygiavertei dozės galiai (LDG) Baltijos jūros priekrantėje ties Juodkrante.
2. Pritaikyti lauko struktūrai skaičiuoti optimalios interpoliacijos metodą.
3. Šio lauko struktūrą atstatyti turint mažesnę eksperimentinių duomenų skaičių.
4. Įvertinti LDG struktūrinio lauko pokyčius priklausomai nuo meteorologinių sąlygų.

Darbo uždaviniai:

1. Pasirinktuose matavimo taškuose išmatuoti LDG pažemio ore vertes.
2. Išanalizuoti LDG pažemio ore verčių pasiskirstymą priklausomai nuo vėjo greičio ir krypties.
3. Pritaikyti optimalios interpoliacijos metodą LDG pažemio ore Baltijos jūros priekrantėje ties Juodkrante ir palyginti rezultatus su išmatuota LDG nustatytame struktūriniame lauke.
4. Naudojant optimalios interpoliacijos metodą nustatyti optimalų taškų kiekį eksperimentiniams matavimams bei jų išsidėstymą struktūriniame lauke.

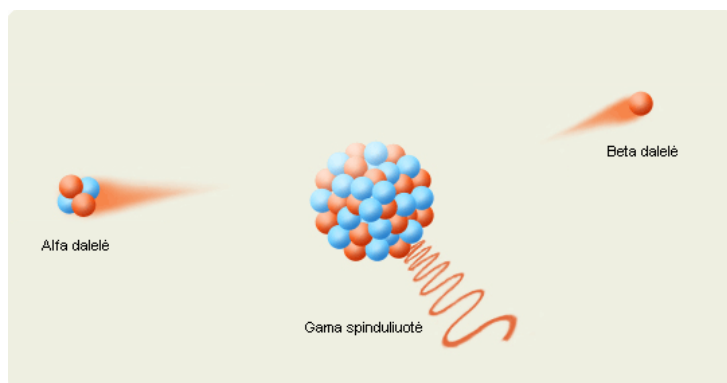
1. GAMTINĖS KILMĖS RADIONUKLIDŲ SUKELIAMA LDG PAŽEMIO ORE

1.1 Jonizuojančioji spinduliuotė

Jonizuojanti spinduliuotė yra alfa, beta ir gama dalelių srautas. Bet kokia forma sklindanti jonizuojančioji spinduliuotė gali perduoti savo energiją medžiagai. Dėl šios energijos perdavimo išstumiami elektronai iš atomų orbitų ir atomai virsta jonais (Wiley 1995).

Aplinką jonizuoti gali protonai ir kitos dalelės, atsiradusios dėl branduolinių reakcijų. Kai kurių atomų nestabilūs branduoliai turi savybę skilti išspinduliuodami elektringąsias daleles. (Tamašauskas 1992).

Alfa spinduliuotė - nestabilus branduolys išspinduliuoja dalelę, - helio branduolį, sudarytą iš dviejų neutronų ir dviejų protonų (Valiukėnas 1999). Sužadintam branduoliui grįžtant į nesusžadintą būseną, išspinduliuojami gama kvantai (VAE 2008).



1 pav. Spinduliuotės tipai sklindant branduoliui (VAE 2008)

Beta spinduliuotė vyksta tada, kai nestabilus branduolys, grįždamas į nesusžadintą būseną, išspinduliuoja elektroną (beta dalelę).

Gama spinduliuotė (gama kvantai) – tai elektromagnetinės bangos arba fotonų srautas, kurių bangos ilgis mažesnis už 0,1 nm ($0,1 \cdot 10^{-9}$ m). Šis fotonų srautas atsiranda vykstant branduoliniams virsmams, pereinant branduoliams iš sužadintosios būsenos į nesusžadintąją, sąveikaujant dalelėms su medžiaga, vykstant elektronų - pozitronų porų anihiliacijai ir t.t.(1 pav) (Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai 2008).

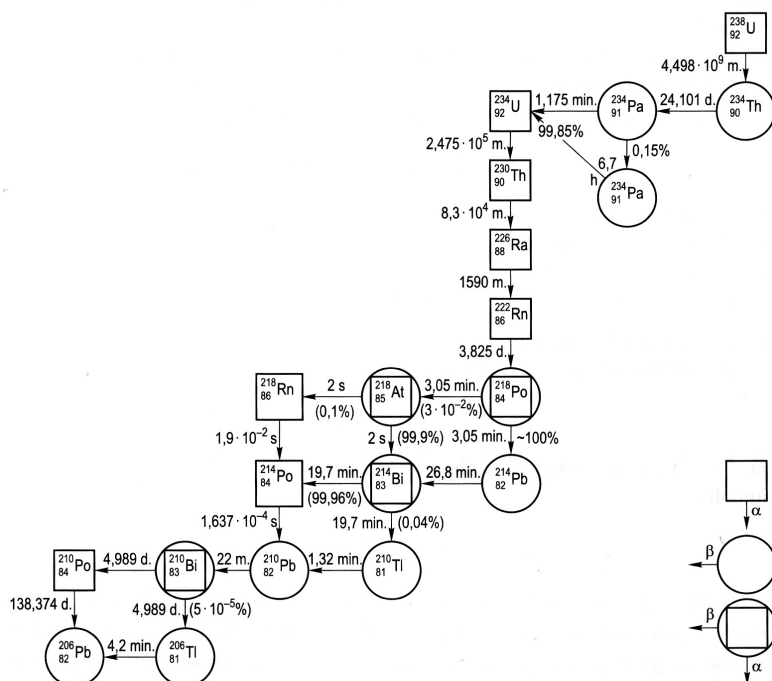
1.2. Natūralios kilmės radionuklidai aplinkoje

Radionuklidų yra visur – ore, vandenyje, grunte ir maiste. Gamtiniai radionuklidai atsirado kartu su Visata, tai mūsų planetos dalis (Morkūnas 2004).

Labiausiai paplitę natūralios kilmės radionuklidai yra iš urano-radžio, urano-aktinio ir torio šeimų bei kalis. (Morkūnas 2004). Gamtiniai radionuklidai patenka į atmosferą iš viršutinių

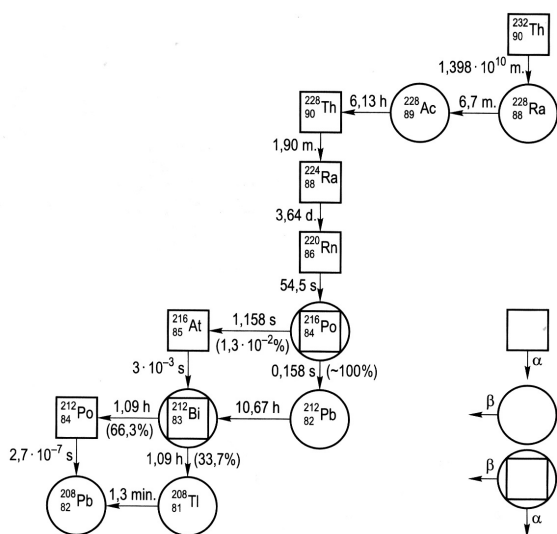
žemės sluoksnių, taip pat susidaro sąveikaujant kosminiams spinduliams su ore esančių medžiagų atomų branduoliais. Žemės plutoje yra aptikta per 60 gamtinių radionuklidų, iš jų 32 radionuklidai, priklausantys trimis radioaktyviosioms šeimoms (Sources and Effects of Ionizing Radiation 2000): urano ($^{238}_{92}\text{U}$), torio ($^{232}_{90}\text{Th}$) ir aktinio ($^{227}_{89}\text{Ac}$).

Urano gamtinės kilmės radionuklidų eilė (2 pav.) prasideda $^{238}_{92}\text{U}$, kuris, skylant branduoliams ir jiems išspinduliuojant α daleles (pusėjimo trukmė – $4,5 \cdot 10^9$ metų), tampa $^{234}_{90}\text{Th}$. Šioje eilėje yra dujinių radioizotopų ($^{222}_{86}\text{Rn}$). Eilė baigiasi patvariuoju $^{206}_{82}\text{Pb}$.



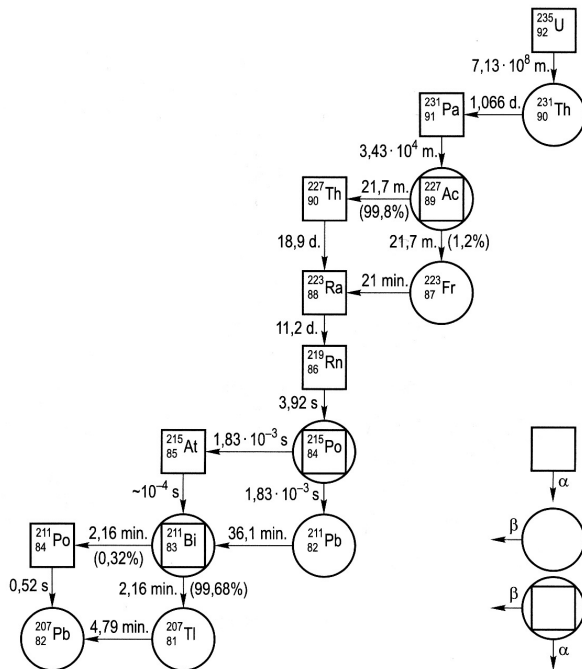
2 pav. Urano eilė (Butkus 2006)

Torio eilė (3 pav.) prasideda radioaktyviuoju izotopu $^{232}_{90}\text{Th}$, kuris, skylant branduoliams ir jiems spinduliuojant α daleles (pusėjimo trukmė – $1,4 \cdot 10^{10}$ metų), tampa β spinduliu $^{228}_{88}\text{Ra}$. Radioaktyviosios dujos šioje eilėje yra $^{228}_{86}\text{Rn}$. Eilė baigiasi patvariuoju izotopu $^{208}_{82}\text{Pb}$.



3 pav. Torio eilė (Butkus 2006)

Aktinio eilė (4 pav.) – taip pat prasideda α spinduliu $^{235}_{92}\text{U}$, kuris, skylanč branduoliams (pusėjimo trukmė – $7 \cdot 10^8$ metų) tampa $^{231}_{90}\text{Th}$. Radioaktyviosios dujos yra $^{219}_{86}\text{Rn}$. Eilė baigiasi patvariuoju $^{207}_{82}\text{Pb}$.



4 pav. Aktinio eilė (Butkus 2006)

Lyginamų skilimų eilėse stebimi bendri dėsningumai. Taigi visos trys minėtos eilės prasideda ilgaamžiais radioaktyviaisiais izotopais. Kiekvienos eilės viduryje yra radioaktyviosios dujos: radonas ir jo izotopai – toronas ir aktinonas, kurių skilimo pusamžiai skirtingi. Iš radioaktyviųjų dujų atsiranda trumpaamžiai jų skilimo produktai. Skilimo metu dalis branduolių spinduliuoja α daleles, o dalis β daleles. Taigi tuo pačiu metu atsiranda du skirtingi izotopai, kurie savo ruožtu išspinduliuoja atitinkamaio β ir α daleles. Kiekviena eilė baigiasi patvariaisiais švino izotopais (Butkus 2006).

Radonas atsiranda kaip radžio dukterinis elementas Urano ar Torio skilimo grandinėse. Radonas egzistuoja visose aplinkose. Jis daro didžiausią įtaką gamtinei žmogaus apšvitai. Tai ir yra priežastis, kodėl daugelis mokslo institucijų studijuoja radoną. Jų studijų sritis apima gana plačią sferą, tokią kaip radonas gruntiniuose vandenyse, atmosferoje ar statiniuose. Radono atsiradimas kietose medžiagose paaiškinamas pagal žinomą teoriją. Pasak šios teorijos dalis radono atomų atsiranda kietoje medžiagoje ant dalelių paviršiaus ir įgavusios pakankamai energijos sugeba atsokti nuo dalelės. Atšokimui energijos įgauna skylant radžiui. Egzistuoja poros tūris tarp gretimų dalelių, kurio tam tikra dalis yra užpildyta oro arba vandens. Radono atomai, išlėkdami iš poros, praranda kinetinę energiją ir poros oras arba vanduo juos sustabdo. Radono atomai, kurie buvo sustabdyti oro arba vandens, pasklinda poroje ir aplink medžiagą, taip tapdami jonizuojančios spinduliuotės šaltiniais. Radono atomų išsisklaidymas apie kietos medžiagos daleles paprastai gali nepasklisti. Minėtai anksčiau radono atomų elgsenai yra kiekybinis paaiškinimas – tai parametras pavadintas “emanacijos koeficientu”, kuris apibrėžtas taip:

Apibrėžimas A (Bq/g) – tai suminis radono atomų kiekis, kuris atsiranda ant kietos medžiagos dalelių.

Apibrėžimas B (Bq/g) – tai toks radono atomų kiekis, kuris atsiranda ant kietos medžiagos dalelių, atšoka nuo granulės į poros ertmę tarp gretimų granulių ir užsilaiko šioje poroje, ore ar vandenyje.

Taigi emanacijos koeficientas apibrėžiamas kaip A ir B santykis (Sasaki 2004).

Lygiavertės dozės galią pažemio ore lemia ^{222}Rn , kuris emanuoja iš dirvožemio per poras (Lebedytė ir kt. 2001). ^{222}Rn atsiranda skylant metalui – radžiui (^{226}Ra), kurio yra visur: dirvožemyje, vandenyje, uolienose, maiste, netgi žmogaus kūne (Morkūnas ir kt. 2002). Pats radonas irgi skyla. Jam skylant susidaro radioaktyvus polonio, bismuto ir švino izotopai. Beje, ir pats radis atsirado skylant ^{238}U (Levin et al. 2002). Nustatyta, kad svarbiausias radono šaltinis yra dirvožemis (Morkūnas ir kt. 2002).

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.

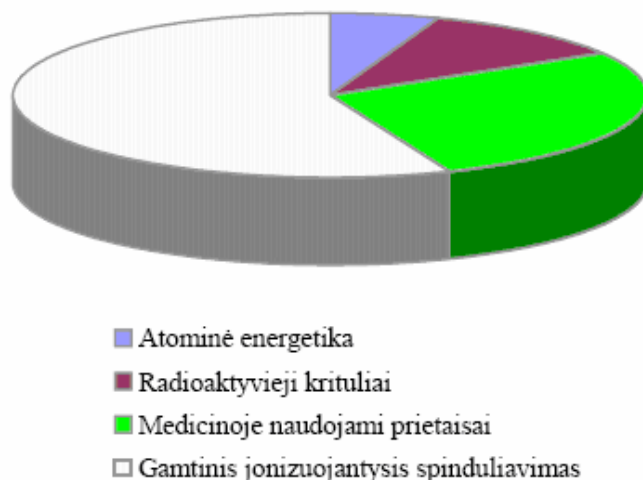
Radonas ^{220}Rn (toronas) yra torio šeimos radionuklidas, susidarantis skylant radžio izotopui ^{224}Ra . ^{220}Rn srautas iš dirvos vidutiniškai sudaro $1,5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. ^{220}Rn pusėjimo trukmė yra 56 s, todėl jo difuzijos nuotolis yra toks mažas, kad tik ne didelė dalis patenka į atmosferą (United Nations Scientific Committee 1998). Atmosferos ore jo turiniai aktyvumai kinta nuo 0,1 iki 0,6 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (United Nations Scientific Committee 1997).

^{222}Rn yra ilgiausiai gyvuojantis iš visų radono izotopų (pusėjimo trukmė 3,82 paros), susidaro skylant ^{226}Ra . ^{222}Rn srautas iš dirvos yra vidutiniškai 100 kartų mažesnis negu ^{220}Rn (United Nations Scientific Committee 1998), bet palyginus ilgas gyvavimo laikas apsprendžia jo platų pasiskirstymą atmosferoje. Vidutiniškas torono ir radono pusiausvyrinių lygiaverčių aktyvumų (radono, esančio pusiausvyroje su savo skilimo produktais, turinis aktyvumas) santykis yra 0,03. Be to, ^{222}Rn buvimą aplinkoje lemia didelė ^{226}Ra pusėjimo trukmė 22 metų (United Nations Scientific Committee 1997). Visi radono izotopai yra alfa spinduliai, o jų skilimo produktai skleidžia ir beta daleles, ir gama kvantus.

Pagrindinis ^{222}Rn poveikis žmogaus organizmui pasireiškia tuo, kad dalis ore esančio radono ir jo skilimo produktų yra įkvepiami, bei nusėda kvėpavimo takuose ir gali sukelti kvėpavimo takų vėžį. Ore ir dirvoje esantys jo skilimo produktai – gama spinduliai – turi įtakos išorinei apšvitai (United Nations Scientific Committee 1998).

Žemės plutoje esančio ^{238}U savitasis aktyvumas - apie $36 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (United Nations Scientific Committee 1998), todėl ten pastoviai atsiranda ^{226}Ra , o iš jo kilęs ^{222}Rn per poras ir plyšius prasiskverbia į atmosferą. Taip vyksta radono ^{222}Rn ekshaliacija iš dirvos, kuri įtakoja LDG pažemio ore formavimuisi. Vidutinis radžio savitasis aktyvumas žemės plutoje kinta nuo $25 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (WHO working group 1995) iki $40 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Porstendorfer 1996).

^{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 smulkiausių 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.



5 pav. Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai (Griškevičius 2005)

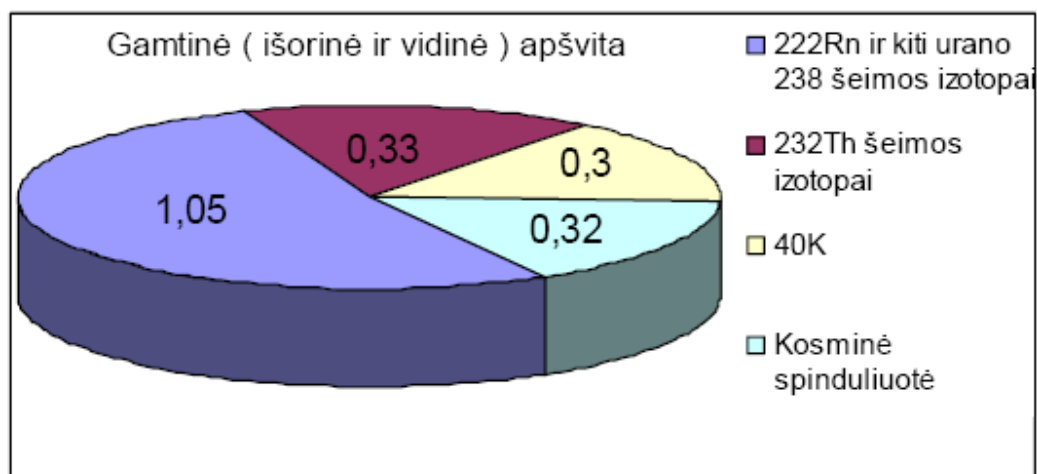
Radioaktyviųjų medžiagų šaltiniai yra dvejopo pobūdžio – gamtiniai ir antropogeniniai. Didžiąją dalį apšvitos žmogus gauna iš gamtinių šaltinių (67 %), o kita apšvitos dalis (35 %) yra žmogaus veiklos rezultatas (5 pav.) (Sources and Effects of Ionizing Radiation 2000).

1.3 Gamtinė apšvita

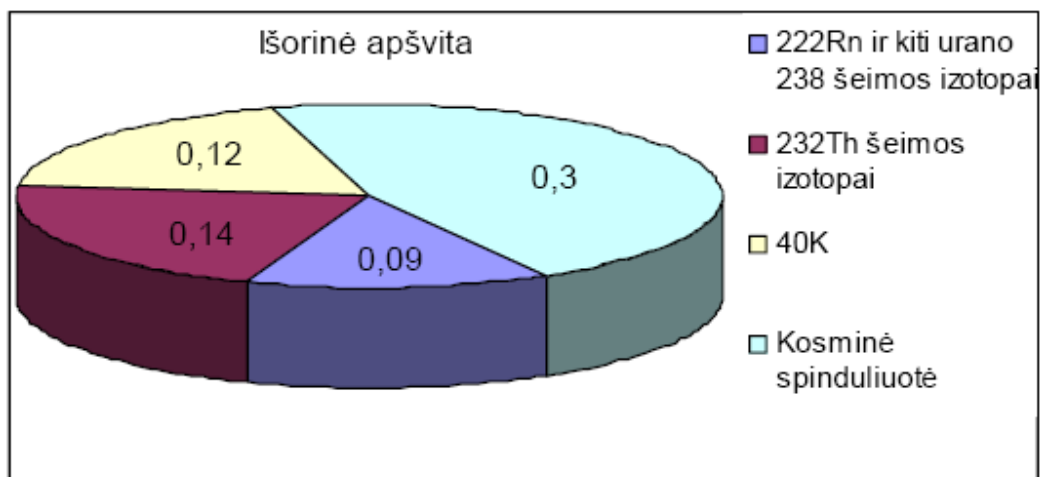
Gamtinę apšvitą - tiek išorinę, tiek vidinę - sąlygoja ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th izotopų šeimų skilimo produktai ir ^{40}K izotopas, bei kosminė spinduliuotė. Urano ir torio skilimo grandinėse radiacinės saugos požiūriu svarbiausi yra ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{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 (Muller 1987).

Didžiąją dalį dozės galios pažemio ore sudaro dozės galia, sąlygojama gamtinės kilmės radionuklidų, esančių dirvožemyje, spinduliuotės. Tai - urano, torio ir aktinio radioaktyviųjų šeimų elementai, bei ^{40}K . Dirvožemyje esančių radionuklidų spinduliuotės sukelta dozės galia 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 (Lebedytė 2001).

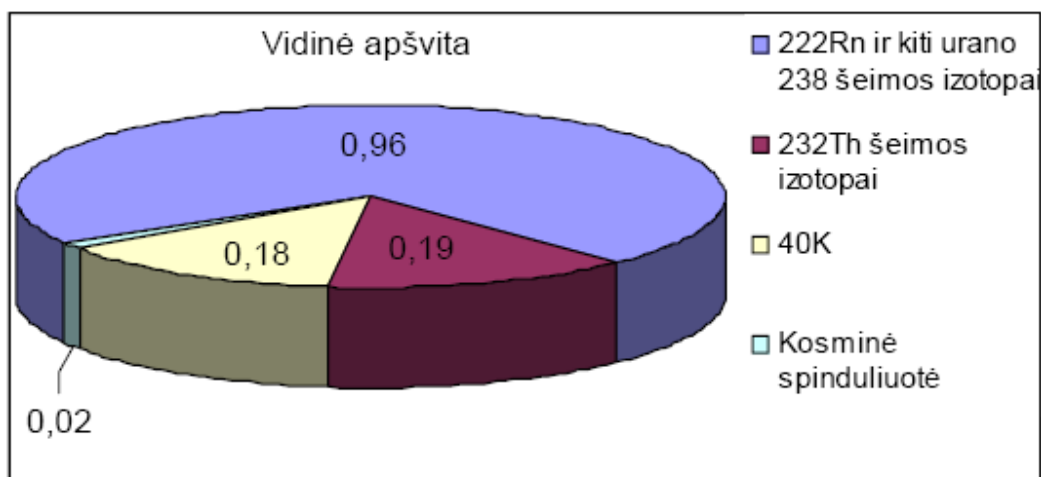
Apie gamtinės jonizuojančios spinduliuotės (išorinės ir vidinės) sąlygojamą vidutinę metinę apšvitą duomenys pateikiami 6, 7 ir 8 paveiksluose. Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita gali būti tiek vidinė, tiek išorinė. Radionuklidai gali patekti į žmogaus organizmą įkvėpus, prarijus ar per odą ir švitinti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



6 pav. Vidutinė gamtinė metinė žmonių apšvita (mSv) (Ašmenskas 1997)



7 pav. Vidutinė gamtinė išorinė metinė žmonių apšvita (mSv) (Ašmenskas 1997)



8 pav. Vidutinė gamtinė vidinė metinė žmonių apšvita (mSv) (Ašmenskas 1997)

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 didžiausia 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 (Ašmenskas 1997).

1.4. Veiksniai, lemiantys LDG pokyčius pažemio ore

Pažemio ore lygiavertės dozės galią lemia radionuklidų, esančių ore ir žemės paviršiuje, jonizuojančioji spinduliuotė bei kosminė spinduliuotė.

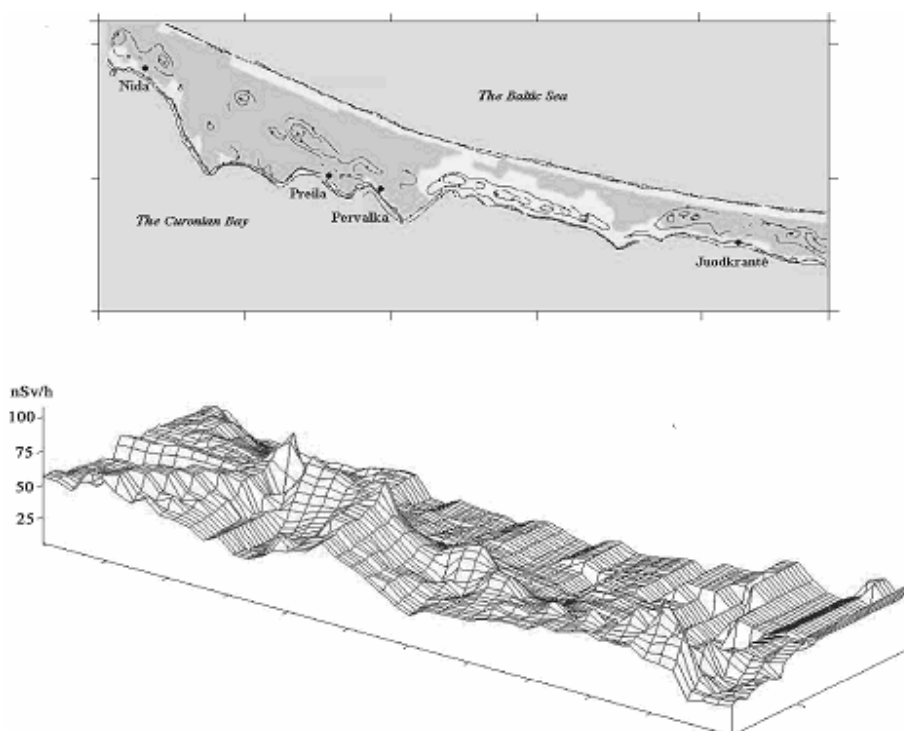
Pažemio ore radionuklidų kiekis keičiasi dėl įvairių priežasčių. Natūraliosios kilmės radionuklidai patenka į atmosferą iš žemės paviršiaus arba atsiranda joje dėl kosminės spinduliuotės sąveikos su atmosfera sudarančių medžiagų atomų branduoliais. Jų turinys aktyvumas pažemio ore keičiasi priklausomai 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 (HN 85:2003).

Pažemio ore LDG, sukelta esančių dirvoje radionuklidų spinduliuotės, tiesiogiai priklauso nuo jų savitojo aktyvumo dirvožemyje. Natūraliosios kilmės radionuklidų savitasis aktyvumas dirvožemyje priklauso nuo dirvožemio tipo (Lebedytė 2001).

1.5. LDG pasiskirstymas Kuršių Nerijoje

9 paveikslas pavaizduoja LDG matavimų rezultatus Kuršių Nerijos pažemio ore. Iš paveikslo akivaizdžiai matyti, kad lygiavertė dozės galia skiriasi visoje Kuršių Nerijoje. Patikimiausi rezultatai gauti prie žemės paviršiaus, dėl žemėje esančių radionuklidų, kurie skleidžia gama radiaciją. Kita priežastis yra trumpaamžiai radono skilimo produktai esantys ore ir jų įvairus išsibarstymas pažemio ore. Taip pat 9 paveikslas rodo, kad mažiausia LDG nustatyta paplūdimyje (nuo 22 nSv/h iki 60 nSv/h), o didžiausia virš asfalto (nuo 57 nSv/h iki 90 nSv/h). Ši natūrali radiacinė kaita paaiškinama antropogeninės veiklos įtaka, taigi, paveikslas aiškiai parodo miestų teritorijas ir kelius (Pečiūlienė et. al. 2005).

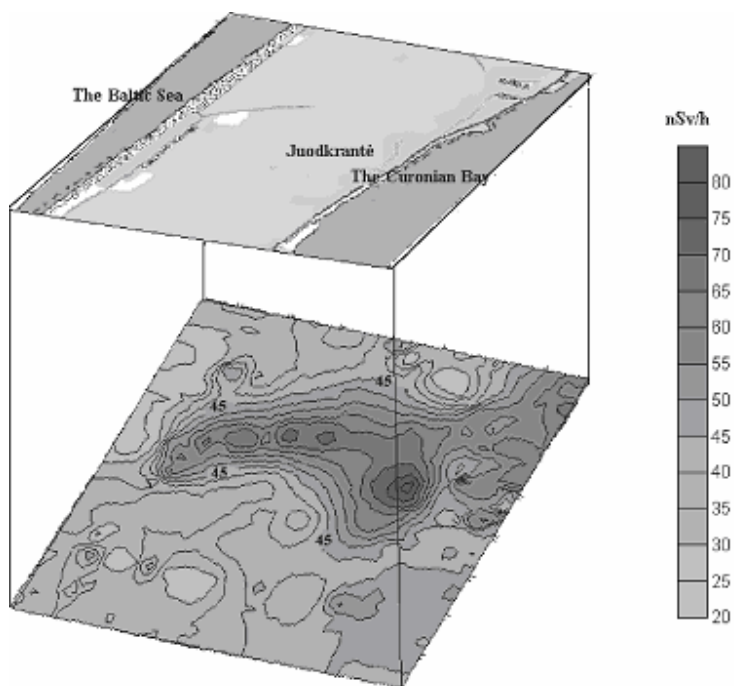


9 pav. LDG laukas ir reikšmių pasiskirstymas Kuršių Nerijoje (Pečiūlienė et. al. 2005)

1 lentelė. LDG rezultatai pažemio ore esant įvairiam gruntui (Pečiūlienė et. al. 2005)

Gruntas	Minimumas (nSv/h)	Maksimumas (nSv/h)	Vidutinės reikšmės (nSv/h)
Paplūdimio smėlis (prieš kopas)	22	60	35
Paplūdimio smėlis (kopos)	24	87	44
Priemolis	24	58	43
Miško paklotė	48	89	64
Kuršių marių paplūdimys	36	46	40
Žvyras	55	89	68

1 lentelėje pavaizduota LDG reikšmių vidurkiai, minimumas ir maksimumas prie pažemio ore. Skaičiuojant vidutines reikšmes, pastebėta, kad LDG virš žvyro dangos ir miško paklotėje yra didžiausia. Pastarosios lygiavertės dozės reikšmės yra 40% didesnės už kitas. LDG pažemio ore pasiskirstymo kopose, lyginant su kitomis vietomis 1 lentelėje, intervalas yra platus (Pečiūlienė et. al. 2005).



10 pav. LDG laukas ties Juodkrante (Pečiūlienė et. al. 2005)

10 paveikslas parodo LDG reikšmių pasiskirstymą ties Juodkrante. Didžiausios LDG reikšmės nustatytos miesteliuose netoli kelių (virš asfalto ir betono paviršių). Žemesnės reikšmės nustatytos virš miško paklotės, paplūdimio smėlio ir kopose. Didesnės reikšmės nustatytos Juodkrantėje, Kuršių marių paplūdimyje, nes didžioji paviršiaus dalis yra padengta akmenimis ir specialiais betoniniais sutvirtinimais (Pečiūlienė et. al. 2005).

2. DARBO METODAI IR PRIEMONĖS

2.1. Priemonės naudotos eksperimentui atlikti

Dozimetriniais tyrimais nustatoma dozės galia pažemio ore.

Priemonės:

1. Scintiliacinis radiometras SRP–88 N.
2. Tiriamo regiono žemėlapis.
3. Globalinio pozicionavimo sistema GPS.
4. Planšetis, popierius, rašymo priemonės.
5. Nešiojamas anemometras.

Scintiliaciniu geologiniu žvalgybiniu radiometru SRP – 88 N pasirinktoje vietoje prie pat žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje išmatuojama dozės galia ore $\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$, tačiau $1 \mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1} = 0,01 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. 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 (NaI (Tl)) matmenys, mm 25×40.

Prietaisas patogus nepertraukiamam zondavimui, kadangi apie LDG kaitą galima spręsti pagal rodyklinį indikatorius, kuris reaguoja nepertraukiamai.

Navigaciniu prietaisu *Mobile Mapper* nustatyta taškų seka, kuriuose šešias dienas, konkrečiame taške matuota radono ir jo skilimo produktų LDG prie žemės paviršiaus ir metro aukštyje, 10 m tikslumu.

Nešiojamu anemometru išmatuotas vėjo greitis m/s konkrečiame taške, 1m/s tikslumu.

2.2. LDG laukų struktūrų nustatymo metodas

Tam, kad LDG duomenys būtų nuo natūralių ir dirbtinių šaltinių (asfaltas) bei turėtų nehomogeninių laukų struktūrą, matavimai atlikti trijuose keliuose: išilgai jūros kranto (drėgnas smėlis), virš asfalto tako ir išilgai miško linijos (sausas smėlis). Eksperimentiniai rezultatai gauti 63 taškuose, t.y., reguliaraus tinklo mazguose, tarp kurių atstumas 100 m. Matavimai buvo atlikti 2008.07.02, esant šiaurės krypties ir 6 m/s vidutiniam vėjo greičiui, 2008.07.07 esant rytų krypties vėjui ir 2 m/s vidutiniam vėjo greičiui, 2008.07.10 esant pietų krypties ir 3 m/s

vidutiniam vėjo greičiui bei 2008.07.12 esant vakarų krypties ir 3 m/s vidutiniam vėjo greičiui. Gautų rezultatų įvairūs variantai buvo panaudoti teoriniame modelyje.

Matematiniam modelyje pagal matavimo metu nustatytas LDG pažemio ore ir vėjo greičius interpoliuojama į pasirinktus Juodkrantės priekrantės sudaryto tinklo mazgus su žingsniu kas 100 metrų (2 priedas).

Išeities (realus) laukas aprašomas šiais parametrais: taško padėtimi dvimatės erdvės atžvilgiu (platumą ir ilgumą) ir realia LDG. Apskaičiuoto lauko paviršių apibrėžia 3 analogiški parametrai, tik čia trečiasis parametras-atstatytoji dozės galia (Styra ir kt. 2008).

LDG lauko struktūrai atkurti panaudotas optimalios interpoliacijos metodas.

Matematiniam modelyje pagal matavimo metu nustatytą lygiavertės dozės galią interpoliuojama į pasirinktus Kuršių nerijos prie Juodkrantės tinklo mazgus.

Šį metodą sudaro šie etapai:

1) tiriamo elemento optimali interpoliacija į tas vietas, kuriose nebuvo matavimų, arba į reguliaraus tinklo mazgus;

2) suderinamas procesas, numatantis ryšius tarp vieno ir to paties elemento lauko skirtingais laiko momentais;

3) klaidingų duomenų išaiškinimas ir pašalinimas arba jų ištaisymas.

Skaiciuojant LDG lauką, buvo priimta keletas prielaidų.

Tegul C_i – LDG taškuose ir $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$ – vidutinė LDG reikšmė, o C_i' – nuokrypa nuo vidurkio:

$$C_i' = C_i - \bar{C} \quad (1)$$

Pagrindinė taikomo optimaliosios interpoliacijos metodo charakteristika yra normuotoji autokoreliacinė funkcija $\mu_k = \mu_k(\rho_k; \rho_{k+1})$, priklausanti nuo LDG taškuose, atstumas tarp kurių $\rho_k < \rho \leq \rho_{k+1}$. Taip pat ši funkcija priklauso nuo tų taškų koordinatų. Tada prieš skaičiuojant autokoreliacinę funkciją $\mu(\rho_k)$, matavimo taškai padalijami į grupes, priklausomai nuo atstumo tarp jų. Siekiant automatizuoti skaičiavimo procesą, atstumas tarp i ir j taškų apskaičiuotas pagal formulę:

$$\rho_{ij} = 6377 \arccos(\cos \alpha_i \cos \alpha_j \cos(\beta_i - \beta_j) + \sin \alpha_i \sin \alpha_j) \quad (2)$$

čia: α_i – i -ojo taško geografinė platuma, β_i – i -ojo taško geografinė ilguma, $\arccos(\cos \alpha_i \cos \alpha_j \cos(\beta_i - \beta_j) + \sin \alpha_i \sin \alpha_j)$ reikšmė duota radianais, $\rho_{i,j}$ – atstumas tarp i ir j taškų, km.

Tada kiekvienai taškų grupei apskaičiuojama normuotoji autokoreliacinė funkcija taškuose:

$$\mu(\rho_k) = \frac{1}{\mu_0 N_k} \sum_{i,j=1}^{N_k} C'_i C'_j \quad (3)$$

čia: $C'_i = C_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N C_j$, $\mu_0 = \frac{1}{m_k} \sum_{i=0}^{m_k} (C'_i)^2$, N – taškų, kuriuose atlikti matavimai, skaičius, C_i – LDG i -ajame taške, m_k – taškų porų, tarp kurių atstumas priklauso intervalui $[(k-1)\Delta\rho; k\rho]$, skaičius, $\rho_k = (k-0,5)\rho$, $k=1, 2, 3, \dots$ – grupių skaičius, N_k – visų įmanomų sandaugų $C'_i C'_j$ skaičius.

Apskaičiavus $\mu(\rho_k)$ reikšmes taškuose ρ_k , gautos diskretinės autokoreliacinės funkcijos vertės aproksimuotos pagal mažiausių kvadratų metodą, kadangi pagrindinę dalį sudaro autokoreliacinė funkcija (Стыро 1989).

Autokoreliacinės funkcijos sudarytos pagal formulę $\mu(\rho) = e^{-\alpha \cdot \rho}$,

čia: ρ – atstumas tarp LDG matavimo vietų, km, α – aproksimavimo parametras.

Nustatyta, kad LDG autokoreliacinė funkcija aprašoma formule $\mu(\rho) = e^{-0,2 \cdot \rho}$.

Kita sprendžiamo uždavinio dalis – tiesinių lygčių sistema, kurią išsprendus gaunami nežinomi svoriai:

$$\sum_{j=1}^n \mu_{i,j} P_j^{(\theta)} = \mu_{j,\theta}, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (4)$$

čia: $\mu_{i,j} = \mu(\rho_{i,j})$, $P_j^{(\theta)}$ – nežinomi svoriai, $\rho_{i,\theta}$ – atstumas tarp i -ojo taško ir taško, kuriame atstatoma koncentracijos reikšmė.

Išsprendus lygčių sistemą, gaunamos reikšmės $P_1, P_2, \dots, P_n$, ir apskaičiuojama ieškoma reikšmė $C_{i,\theta}$:

$$C_{i,\theta} = C'_{i,\theta} + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j = \sum_{j=1}^N P_j^{(\theta)} C'_j + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j \quad (5)$$

Autokoreliacinės funkcijos parinkimo tikslumas, atkuriant aktyvumo lauko struktūrą, apibrėžia pagrindinę LDG paklaidą duotame lauko taške. Vidutinė kvadratinė E lauko elementų skaičiavimo paklaida nustatoma optimaliai parenkant svorius P_i :

$$E = \overline{\left(C'_0 - \sum_{i=1}^n P_i C'_i \right)^2} = \min \quad (6)$$

Tada svoriai P_i randami iš n lygčių sistemos

$$\sum_{j=1}^n \mu_{i,j} P_j = \mu_{0,i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

Iš čia optimalios interpoliacijos metodo paklaida:

$$\varepsilon = 1 - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} P_i \quad (8)$$

Optimalios interpoliacijos metodu gautos LDG lauko elementų reikšmės išrenkamos tos, kurioms apskaičiuotų LDG reikšmių dispersija mažesnė ar lygi eksperimentiniu būdu gautų rezultatų dispersijai.

Aprašytame metode teigiama, kad atstatomas LDG laukas turi būti stacionarus, vienalytis (homogeniškas) ir izotropiškas, todėl metodo efektyvumas priklauso nuo šių sąlygų išpildymo (Стыро 1989).

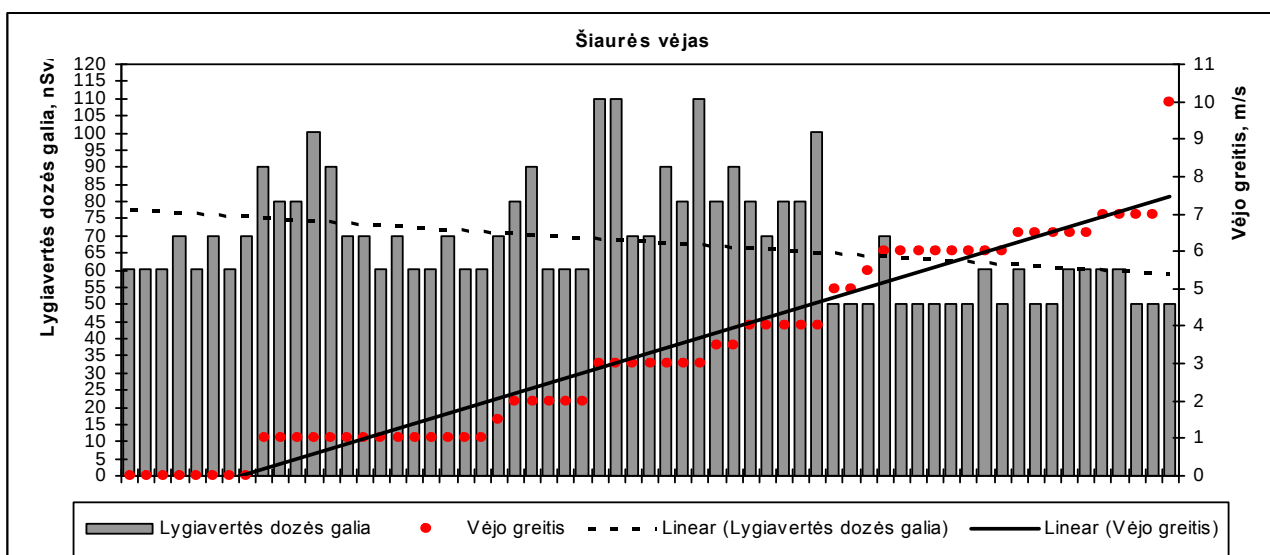
Toliau LDG laukų struktūrai nustatyti buvo naudojamas matematinio modeliavimo paketas „MAPLE“. Šiuo paketu buvo sukurta programa, kuri modeliuojant eksperimentinius taškus išdėsto simetriškai.

3. REZULTATAI

Šiame darbe nagrinėjami LDG pokyčiai pažemio ore Baltijos jūros priekrantėje ties Juodkrante (1 priedas). Tyrimai atlikti esant įvairioms meteorologinėms sąlygoms ir nehomogeniškai aplinkai, todėl pagal gautus rezultatus galima stebėti LDG vertės pažemio ore kaitą priklausomai nuo vėjo greičio, krypties ir grunto tipo. Taip pat LDG matavimo taškuose buvo išmatuota temperatūra ir santykinė oro drėgmė, tačiau nenustatyta priklausomybė tarp LDG ir šių parametrų. Šie parametrai svyravo nedideliame intervale (temperatūra kito 5°C , santykinė oro drėgmė – 10 %), todėl šiame darbe šių parametrų įtaka nėra nagrinėjama. Norint nustatyti tokių parametrų įtaką LDG reikalinga atlikti detalesnius matavimus skirtingais metų laikais. Pagal išmatuotus LDG rezultatus optimaliai parinktuose taškuose, sumodeliuotos LDG reikšmės taškuose, kuriuose matavimai nebuvo atlikti.

3.1. LDG pažemio ore verčių pasiskirstymas priklausomai nuo vėjo krypties ir greičio.

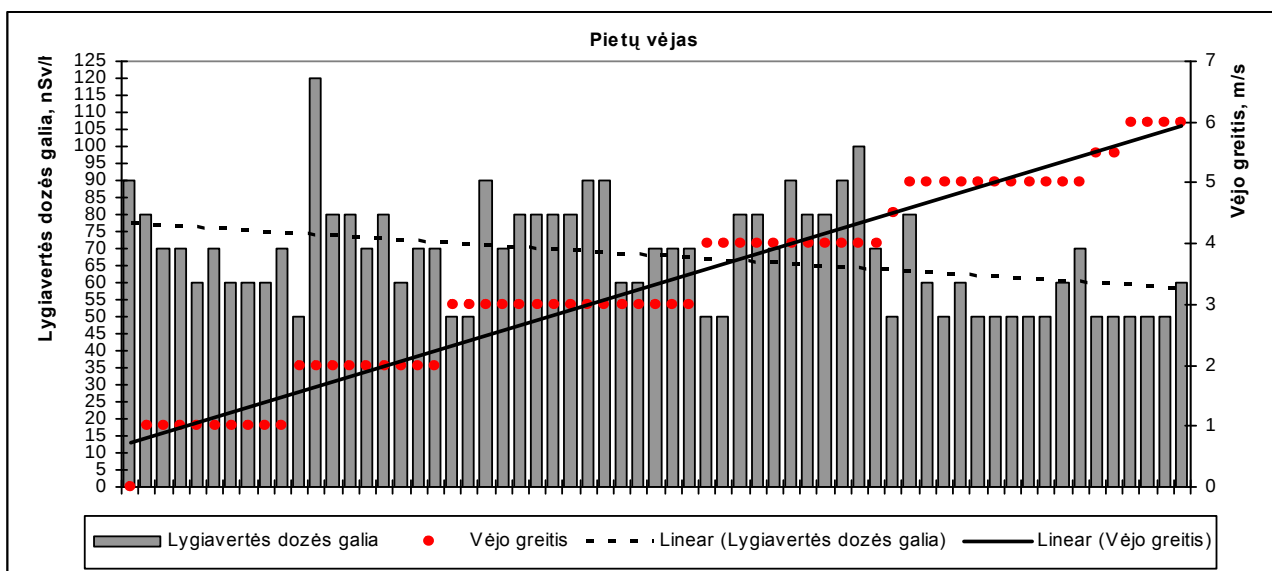
Kaip yra žinoma, LDG pažemio ore priklauso ne tik nuo grunto savybių, bet ir nuo vėjo krypties bei greičio. Tam, kad įvertinti priklausomybę buvo atliekami LDG matavimai pažemio ore kartu matuojant vėjo greitį ir kryptį konkrečiame taške. Atsižvelgiant į vėjo kryptį, gautos reikšmės sugrupuotos pagal vėjo greitį nuo mažiausio iki didžiausio. 11 – 14 paveikslai charakterizuoja LDG vertes priklausomai nuo vėjo greičio ir krypties. Paveiksluose pavaizduotos tiesinės kreivės atspindi LDG pažemio ore ir vėjo greičio didėjimo ar mažėjimo tendenciją bei tarpusavio priklausomybę.



11 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant šiaurės krypties vėjui (2008.07.02)

Iš 11 paveikslo galima pastebėti tendenciją, kad pučiant šiaurės vėjui ir didėjant vėjo greičiui, LDG mažėja. LDG mažėjimą galima paaiškinti tuo, kad vėjas pučia išilgai jūros pakrantės ir jo greitis yra santykinai didelis. Didžioji dalis iš žemės išsiskiriančio radono yra išsklaidoma ir dėl to mažėja LDG pažemio ore. Taip pat stebimas ryškus LDG padidėjimas kai vėjo greitis vidutiniškai siekia 3 – 4 m/s. Šį reiškinį galima paaiškinti tuo, kad pučiant Šiaurės krypties vidutiniam vėjo greičiui lygiavertė dozės galia nėra išsklaidoma, o tiesiog papildoma iš kitų rajonų atpūstu radono kiekiu. Savaime aišku, kad santykinai mažas vėjo greitis, neturi įtakos LDG kaitai pažemio ore. Vėjo greičiui padidėjus 7,5 karto ir esant Šiaurės krypties vėjui, LDG sumažėja apie 17 nSv/h.

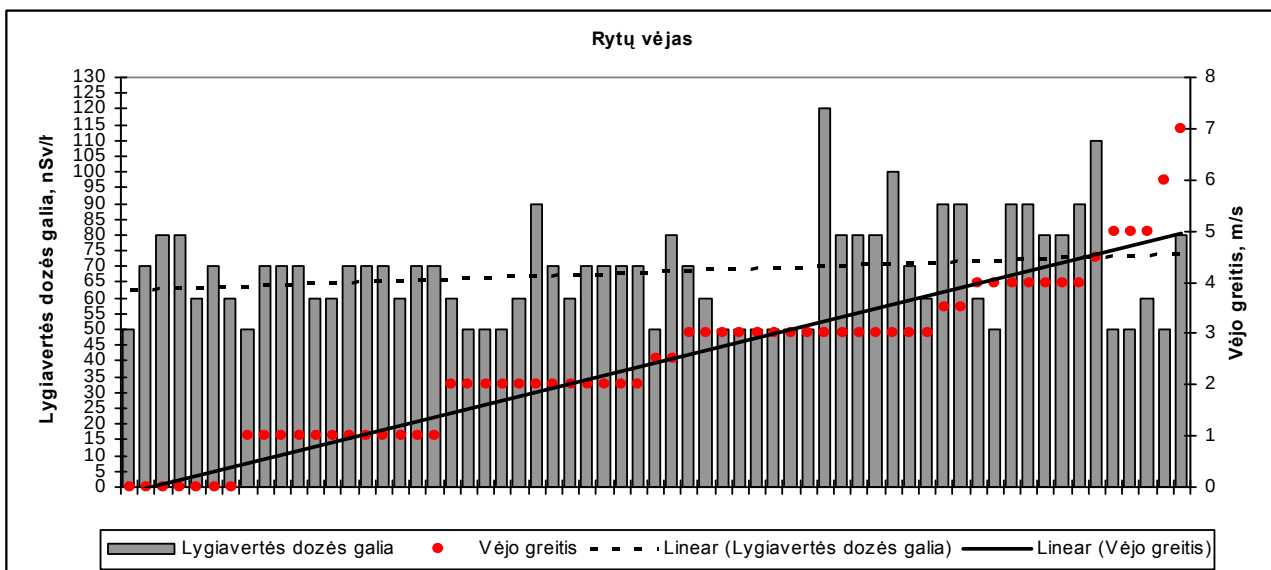
Kitas atvejis pavaizduotas 12 paveiksle, kai pučia priešingos krypties, pietų vėjas.



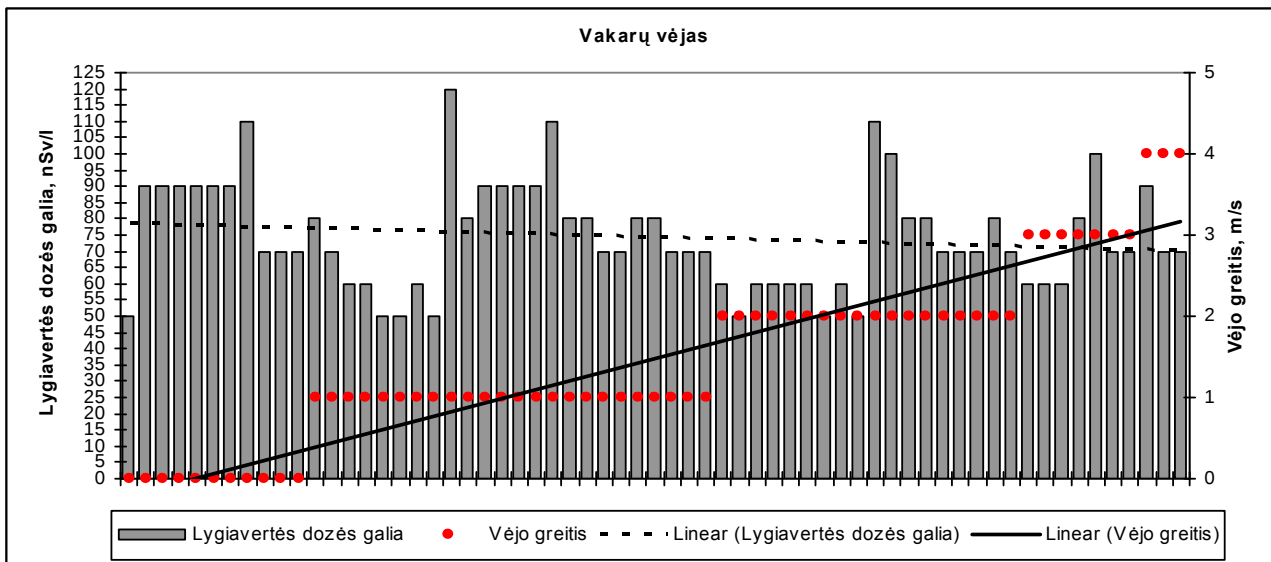
12 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant pietų krypties vėjui (2008.07.10)

Stebint 12 paveiksle pateiktus rezultatus, taip pat galima pastebėti tendenciją, kad pučiant pietų vėjui ir didėjant vėjo greičiui, LDG mažėja. Aiškus LDG sumažėjimas stebimas, kai vėjo greitis vidutiniškai siekia 5 – 6 m/s. LDG pažemio ore formavimuisi vidutinis ir santykinai mažas vėjo greitis įtakos neturi. Tačiau bendra situacija įrodo, kad vėjo greičiui padidėjus 6 kartus, LDG sumažėja apie 17 nSv/h.

13 paveiksle pateikta situacija, kai vėjo kryptis – rytų. Čia LDG didėja, didėjant vėjo greičiui. Taip atsitinka dėl to, kad vėjas pučia iš kontinento. Stebimas ryškus LDG padidėjimas esant vidutiniam 3 – 4,5 m/s vėjo greičiui. Vėjo greičiui padidėjus 5 kartus, LDG pažemio ore padidėja 12 nSv/h.



13 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant rytų krypties vėjui (2008.07.07)



14 pav. LDG kaita priklausomai nuo vėjo greičio, esant vakarų krypties vėjui (2008.07.12)

14 paveiksle pateikta situacija, kai pučia vakarų vėjas. Čia stebimas neryškus LDG sumažėjimas priklausomai nuo vėjo greičio ir krypties. Tokia situacija paaiškinama, nes vėjas pučia nuo jūros, kur mažesnis radionuklidų kiekis ore. Vėjo greičiui padidėjus 3 kartus, LDG pažemio ore sumažėja 9 nSv/h.

Apžvelgiant bendrai skirtingas situacijas galima teigti, kad vėjo greitis turi įtakos LDG pažemio ore, nes visais atvejais, padidėjus vėjo greičiui vidutiniškai 3 kartais, LDG sumažėja vidutiniškai 8 nSv/h, o esant rytų vėjui atvirkščiai padidėja.

3.2 LDG laukų struktūros modeliavimas (prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje) naudojant simetrinį modelį.

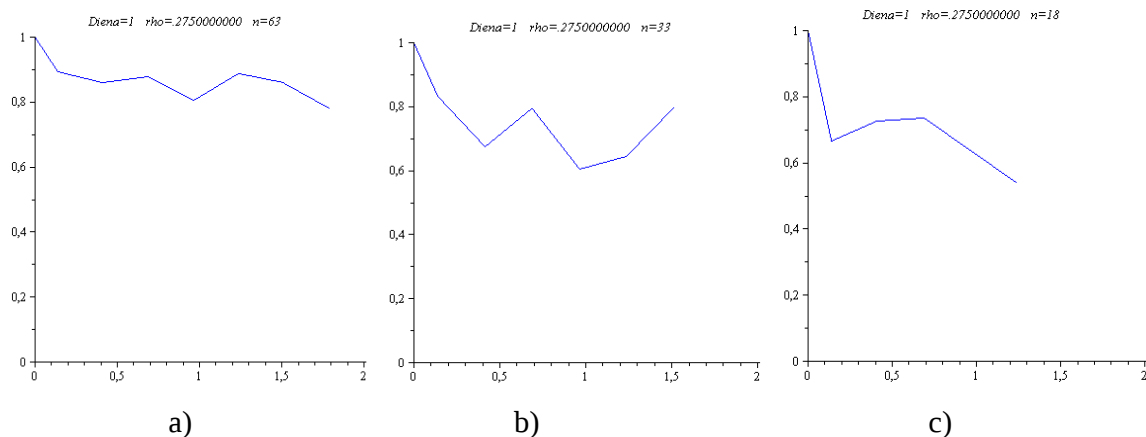
Kaip žinoma, radono ir jo skilimo produktų ekshalicija iš dirvožemio priklauso nuo žemės paviršiaus struktūros, o jo struktūra matavimo taškuose yra skirtinga – drėgnas smėlis, asfaltas, sausas smėlis. Toks nevienalytis paviršius sudarė sąlygas skirtingoms LDG laukų struktūroms susiformuoti pažemio oro sluoksnyje. Eksperimentiniai duomenys pateikti 3 priede.

Eksperimentiniai duomenys rodo, kad LDG vidutinės reikšmės keičiasi ribose nuo 51 iki 98 nSv/h, o didžiausios reikšmės stebimos prie žemės paviršiaus. Šis faktas patvirtina, kad natūralios kilmės radionuklidai, esantys grunte, labiausiai įtakoja LDG. Laikui bėgant jų koncentracijos keičiasi erdvėje ir laike. Ekstremalios LDG reikšmės prie žemės paviršiaus buvo 40 ir 130 nSv/h, o vieno metro aukštyje svyravo nuo 40 iki 120 nSv/h. Ekstremalios vėjo greičio reikšmės svyruoja nuo 1 iki 8 m/s. Vėjo kryptis skirtinga visais atvejais t. y. 2008.07.02 – šiaurės krypties vėjas, 2008.07.07 – rytų krypties vėjas, 2008.07.10 – pietų krypties vėjas bei 2008.07.12 – vakarų krypties. Toks reikšmių svyravimas charakterizuoja LDG lauko struktūros nevienalytiškumą.

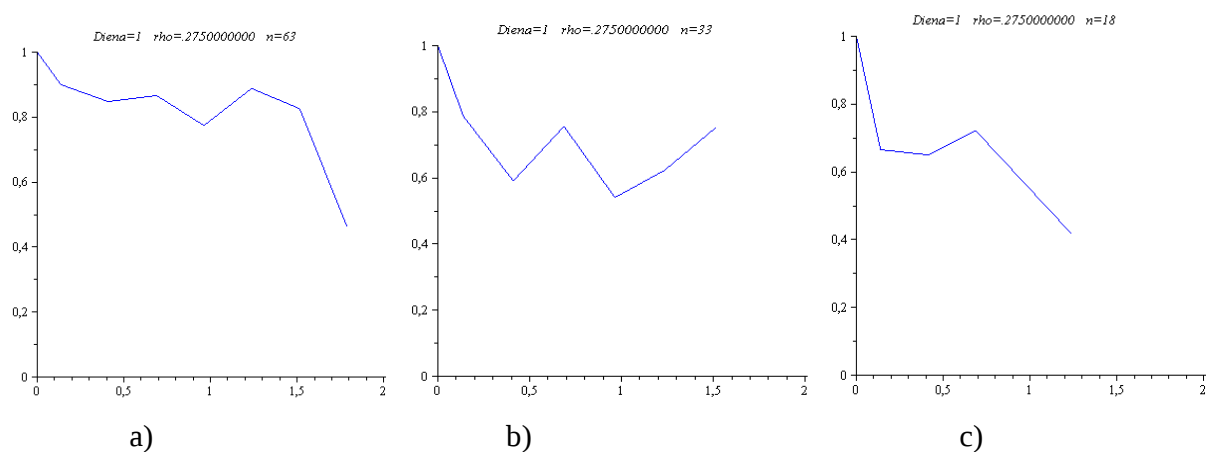
LDG laukų struktūroms ir jų pokyčių analizei, esant stacionarumo sąlygai, buvo panaudotas optimalios interpoliacijos metodas ir simetrinis matematinis modelis. Šie metodas ir modelis buvo taikomi naudojant pilną eksperimentinę informaciją (63 matavimo taškus), o taip pat ir tam tikrą jos rezultatų dalį (30 ir 18 taškų), kad atkurti LDG laukų struktūras. Tokios laukų struktūros analizuojamos visoms dienoms – 2008 liepos 2, 10, 7 ir 12.

LDG lauko struktūros ryšio kokybę nusako autokoreliacinė funkcija. Naudojant 2008-07-02 gautus eksperimentinius duomenis, esant šiaurės krypties vėjui, prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje apskaičiuotos autokoreliacinės funkcijos pavaizduotos 15, 16, 19, 20, 23, 24, 27 ir 28 paveiksluose. Šių paveikslų a), b) ir c) dalyse skaičiavimams atlikti panaudoti atitinkamai 63, 33 ir 18 gautų eksperimentinių duomenų.

Toliau aptariama situacija kai buvo Šiaurės krypties vėjas, kurio vidutinis greitis siekė 6 m/s. 15 paveiksle pavaizduotas stiprus koreliacinis ryšys tarp LDG lauko elementų, kai eksperimentas buvo atliktas prie žemės paviršiaus. Akivaizdu, kad koreliacinis ryšys yra stipresnis tuo atveju, kai naudojama daugiau eksperimentinių duomenų. Šio paveikslo a) dalyje pavaizduotos koreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja nuo 1 iki 0,8 (naudojama visa eksperimentinė informacija – 63 taškuose gauti eksperimentiniai duomenys). b) dalyje autokoreliacinės funkcijos svyruoja didesniame intervale – nuo 1 iki 0,6 (naudojama 33 taškuose gauti eksperimentiniai duomenys), o c) dalyje dar didesniame intervale – nuo 1 iki 0,5 (naudojama 18 taškų gauti eksperimentiniai duomenys).



15 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-02, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

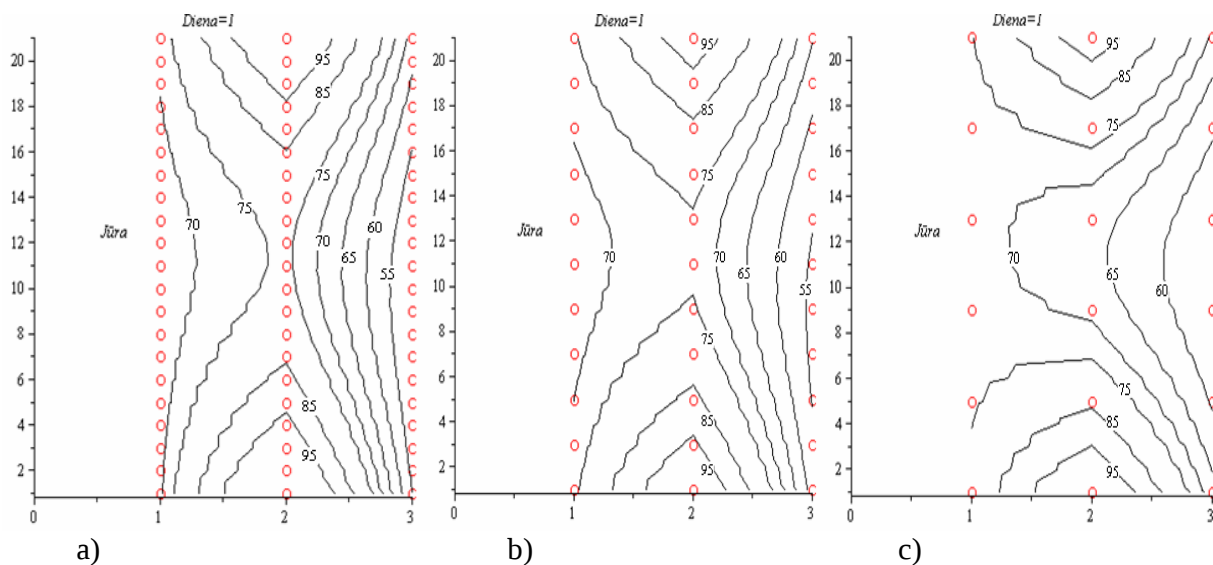


16 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-02, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

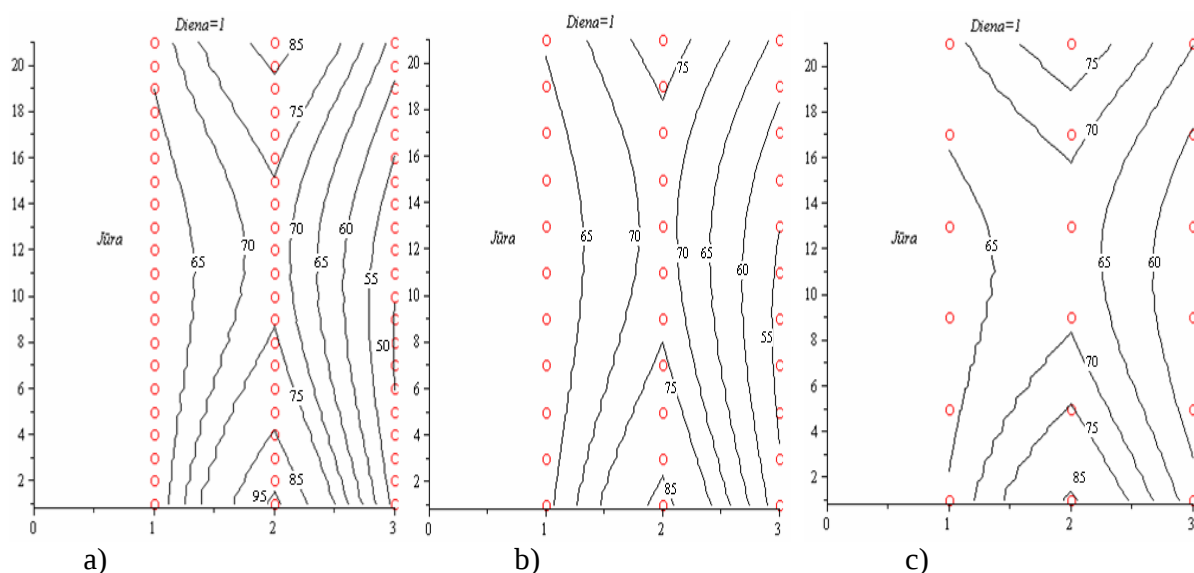
16 paveiksle koreliacijos ryšys tarp LDG laukų akivaizdžiai stiprus, tačiau skiriasi funkcijos reikšmės. Kai skaičiavimams atlikti naudojami visi eksperimentiniai duomenys jos reikšmė svyruoja nuo 1 iki 0,5. Paveikslo b) dalyje autokoreliacinės funkcijos reikšmė svyruoja nuo 1 iki 0,6 ir c) dalyje – nuo 1 iki 0,4.

Atokoreliacinių funkcijų reikšmių skirtumus paaiškina atkurtos LDG laukų struktūros, naudojant optimalios interpoliacijos metodą ir simetrinį matematinį modelį.

17 ir 18 paveiksluose, kuriuose, esant šiaurės krypties vėjui, pavaizduotas LDG laukas, panaudojant optimalios interpoliacijos metodą, prie žemės paviršiaus 2008-07-02, panaudojant lauko struktūrai atkurti visus 63 eksperimentinius duomenis (a) ir paliekant tik 33 (b) ir 18 (c).



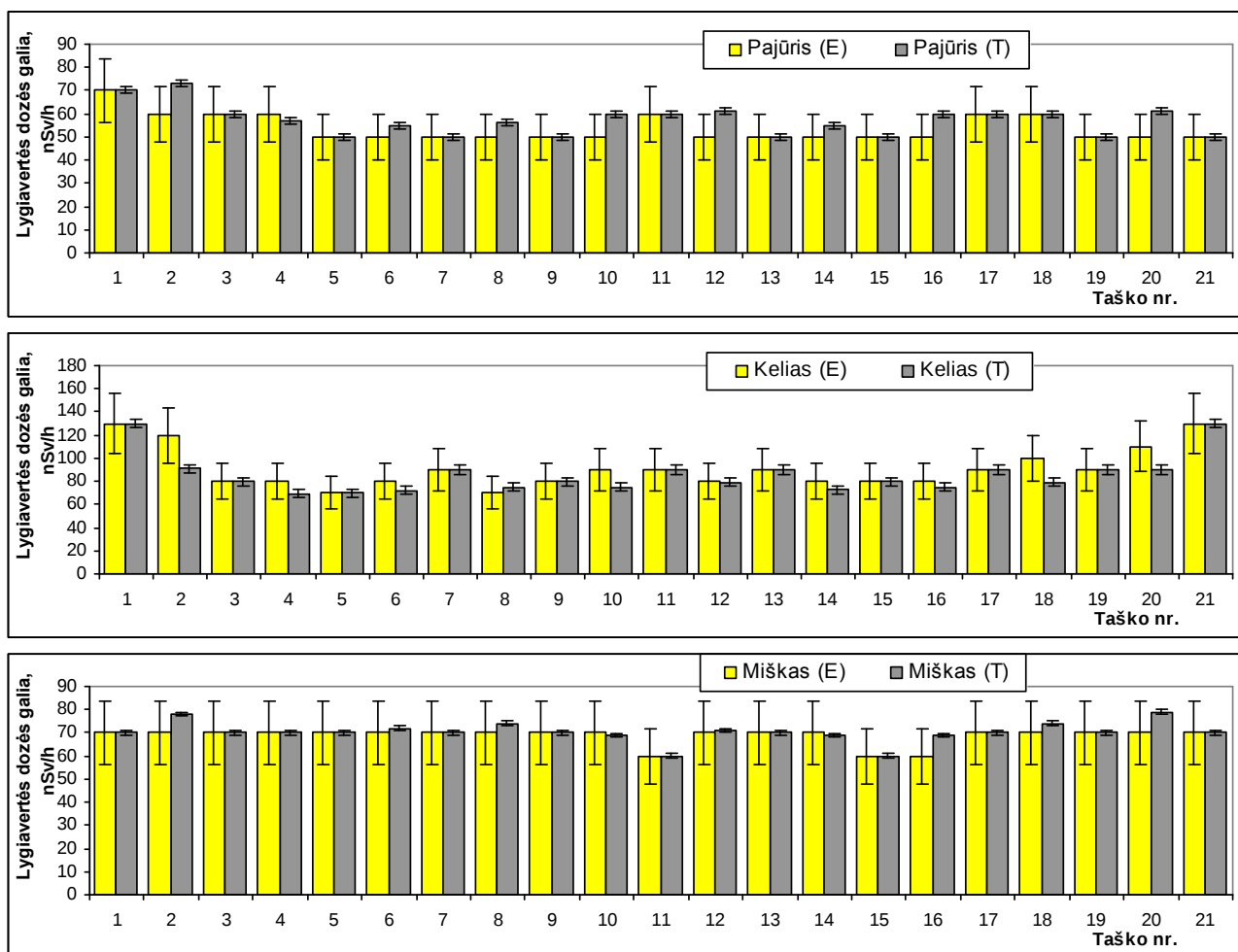
17 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų



18 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

17 ir 18 paveiksluose laukų struktūros turi panašias formas, tačiau, esant mažesniame eksperimentinių duomenų skaičiui, stebimas lauko susilyginimas. Lyginant LDG laukų struktūras prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje stebimas LDG verčių padidėjimas centro link. Tai atsitinka dėl tos priežasties, kad centre pasirinktas ruožas yra asfaltuotas kelias ir todėl LDG padidėjimą įtakoja radionuklidai esantys asfalto dangoje. 18 paveiksle matome, kad LDG augimas centro link yra mažesnis visais atvejais.

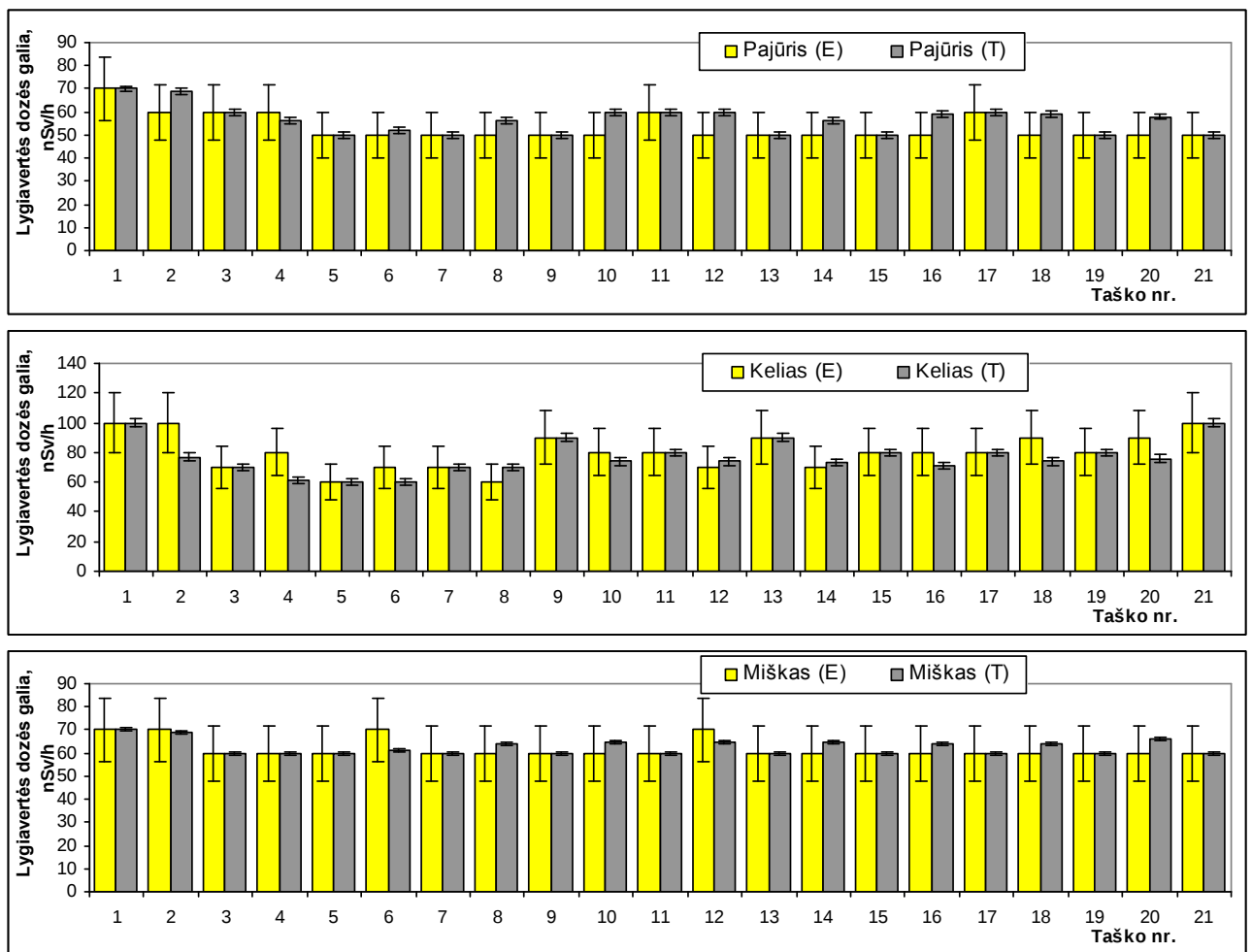
Toliau nagrinėjamas aukščiau aptartai situacijai LDG eksperimentinių duomenų ir modeliavimo palyginimas rodo duomenų sutapimą paklaidų ribose.



19 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

19 paveiksle matome, palyginus eksperimentinius duomenis su modeliavimo rezultatais, miško ruože gauti modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentiniais paklaidų ribose, kelio ruože sutampa 90 %, o pajūrio ruože prie žemės paviršiaus sutampa 86 %. Didžiausias skirtumas tarp matavimo ir modeliavimo duomenų matomas kelio ruože, kuris siekia 24 %. Bendrai skirtinguose ruožuose 92 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidų ribose.

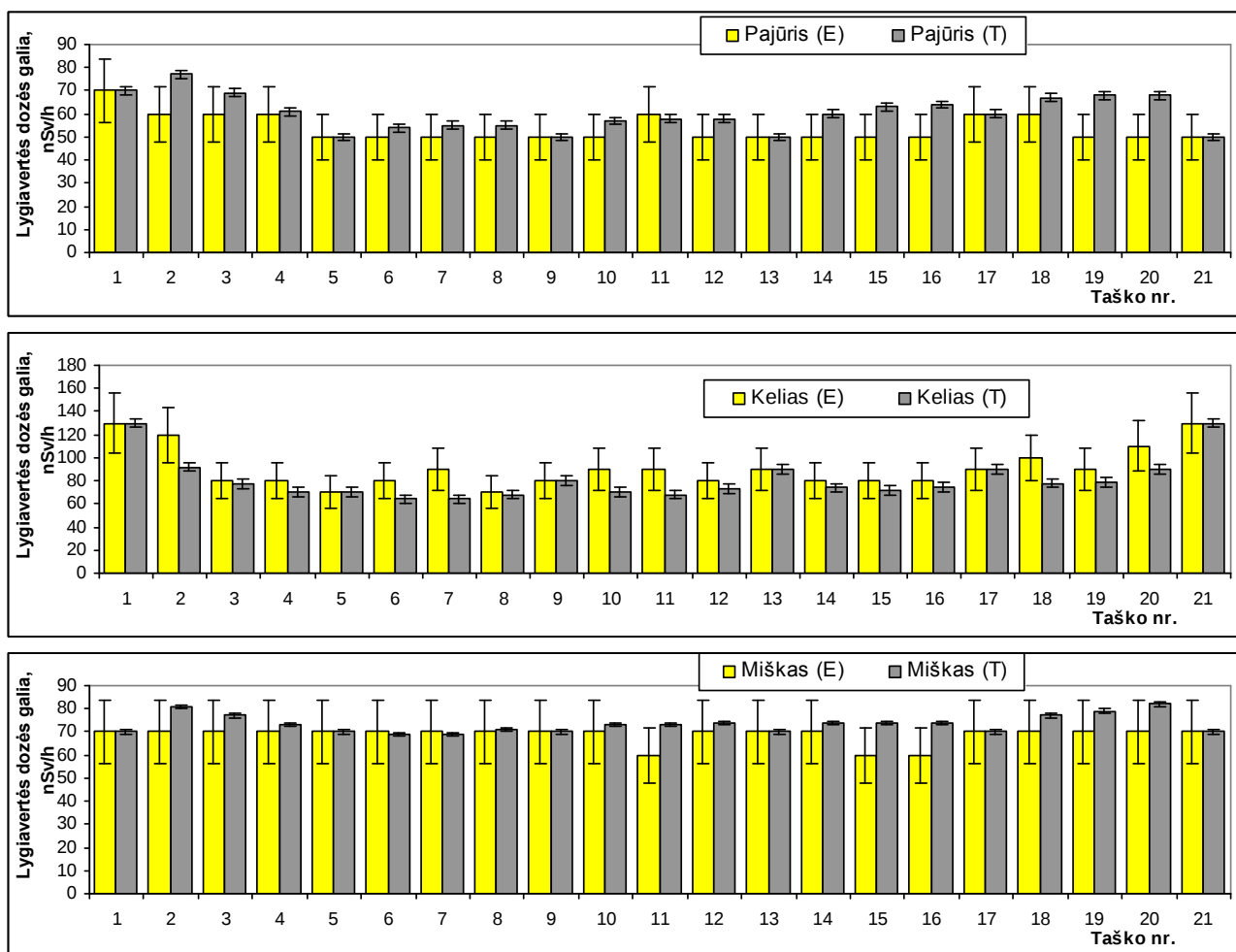
Sekančiame 20 paveiksle pateikiama informacija kai eksperimentas atliktas vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus ir modeliavimui panaudoti 33 taškų eksperimentiniai duomenys.



20 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Esant tokiai situacijai, modeliavimo rezultatai nesiskiria nuo eksperimento rezultatų prie žemės paviršiaus. 20 paveiksle matome, palyginus eksperimentinius duomenis su modeliavimo rezultatais, miško ruože gauti modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentiniais paklaidų ribose, kelio ruože sutampa 90 %, o pajūrio ruože prie žemės paviršiaus sutampa 86 %. Didžiausias skirtumas tarp matavimo ir modeliavimo duomenų matomas kelio ruože, kuris siekia 24 %. Bendrai skirtinguose ruožuose 97 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidų ribose.

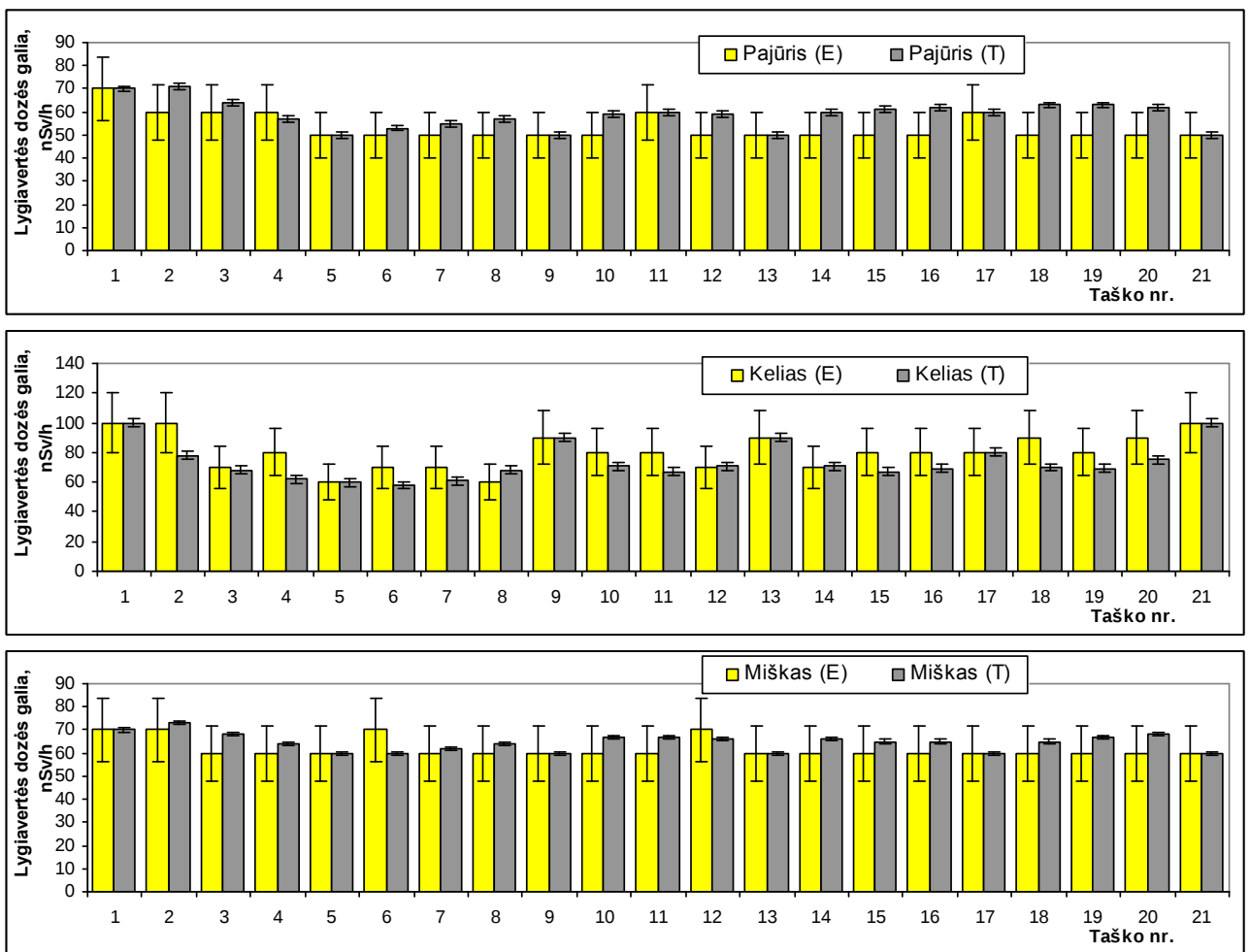
Sumažinus eksperimentinių duomenų skaičių per pusę, stebima šiek tiek kitokia situacija tarp modeliavimo ir eksperimentinių rezultatų (21 ir 22 paveikslai). 21 paveiksle situacija nagrinėjama, kai naudojama 18 taškų eksperimentiniai duomenys, kurie buvo gauti prie žemės paviršiaus, o 23 kai eksperimentas buvo atliktas vieno metro aukštyje.



21 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Esant tokiai situacijai, kuri pateikta 21 paveiksle, pajūrio ir kelio ruožuose 76 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentu paklaidos ribose, miško ruože sutapimas siekia, net 86 %. Nors pajūrio ir kelio ruožuose rezultatų sutapimas vienodas, pajūrio ruože pastebėtas didžiausias nesutapimas dviejuose taškuose, kuris siekia, net 39 %. Bendrai visuose ruožuose 86 % modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidų ribose.

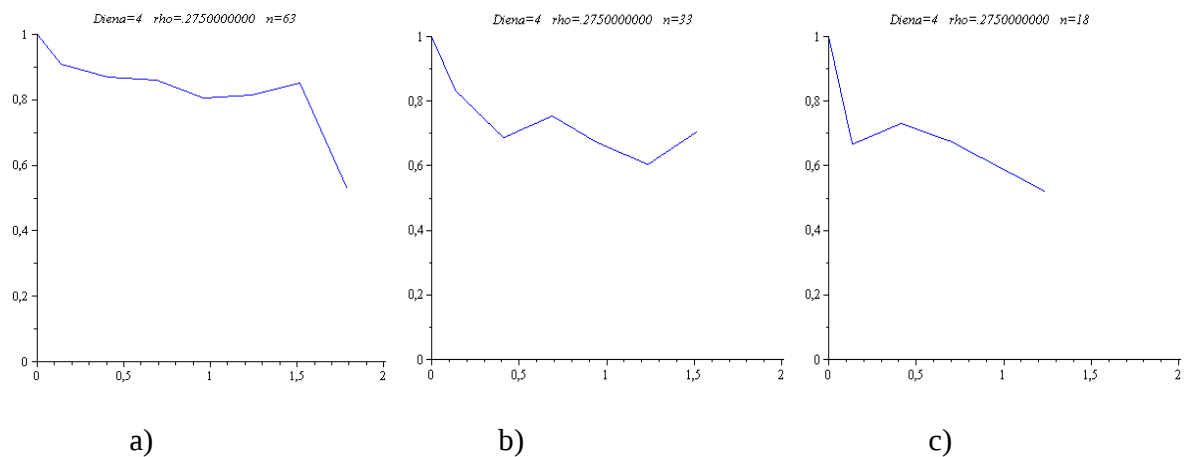
Sekančiame paveiksle modeliavimo reikšmės yra artimesnės eksperimento duomenims. Vieno metro aukštyje (22 pav.), pajūrio ruože taip pat kaip ir prie žemės paviršiaus 76 % modeliavimo rezultatai sutampa, tačiau didžiausias nesutapimas siekia apie 26 %. Kelio ruože stebimas net 90 % sutapimas, o miške modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentu paklaidos ribose. Bendrai visuose ruožuose 87 % modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidų ribose.



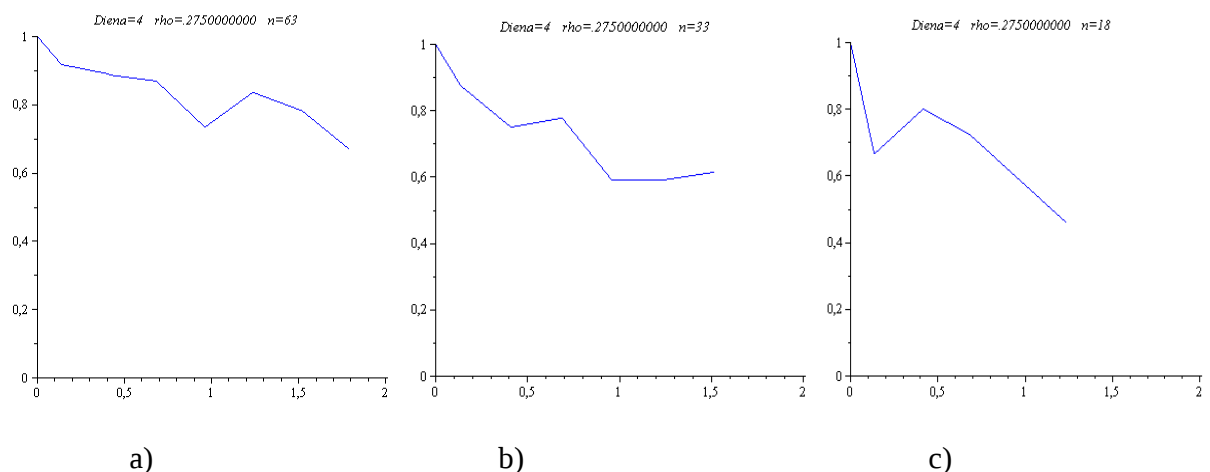
22 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-02, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Toliau nagrinėjami 2008-07-10 atlikto eksperimento duomenys, esant priešingos krypties vėjui - pietų ir per pusę mažesniame vidutiniame vėjo greičiui – 3 m/s, stebima šiek tiek kitokia situacija.

23 paveiksle pavaizduotas šiek tiek silpnesnis koreliacinis ryšys, negu 2008-07-02, tarp LDG lauko elementų, kai eksperimentas buvo atliktas prie žemės paviršiaus. Čia taip pat koreliacinis ryšys yra stipresnis tuo atveju, kai naudojama daugiau eksperimentinių duomenų. Šio paveikslo a) ir c) dalyse pavaizduotos koreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja nuo 1 iki 0,5. b) dalyje autokoreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja mažesniame intervale – nuo 1 iki 0,6.

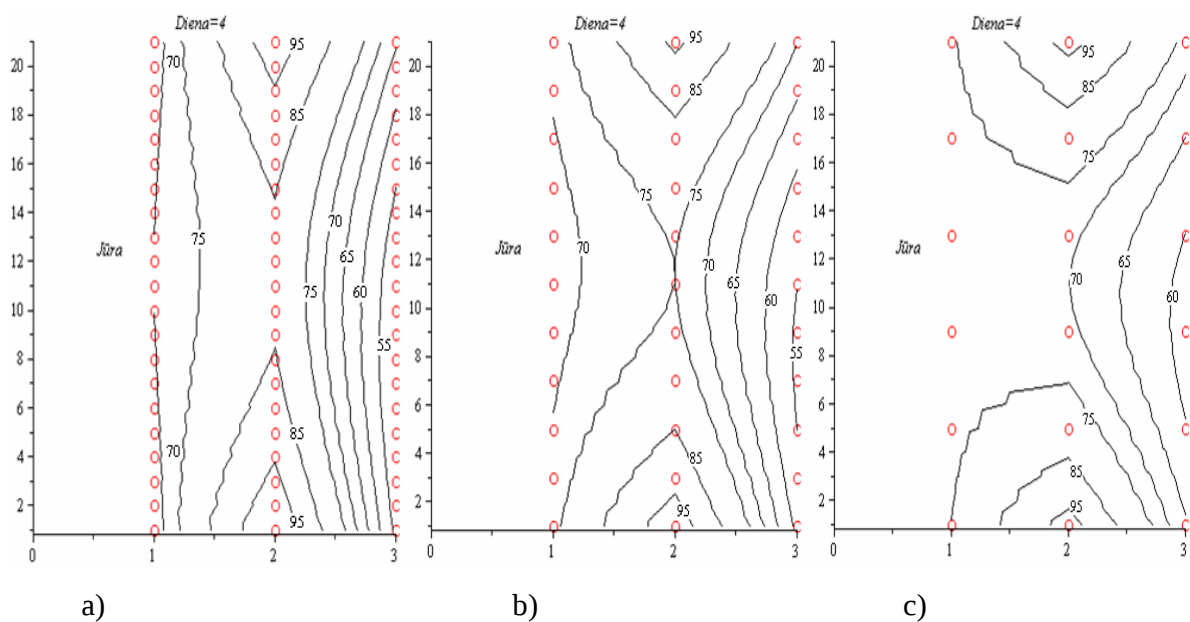


23 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-10, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

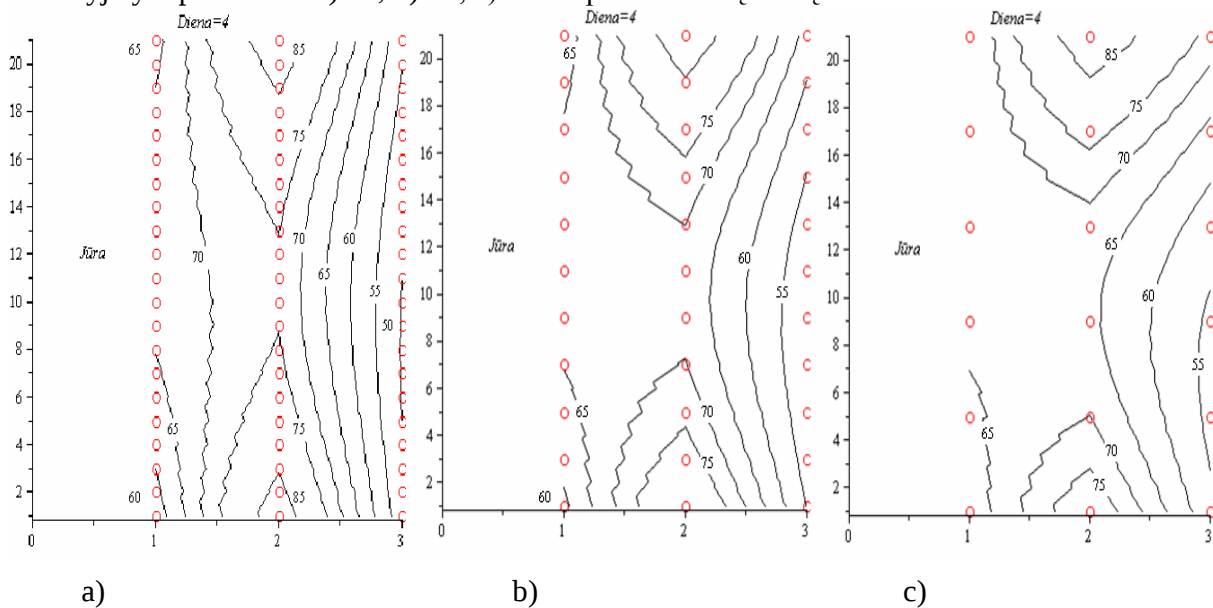


24 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-10 situacijai, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

24 paveiksle koreliacijos ryšys tarp LDG laukų praktiškai toks pats, tačiau skiriasi funkcijos reikšmės – mažėjant eksperimentinių duomenų skaičiui, didėja autokoreliacinės funkcijos reikšmių intervalas. Kai skaičiavimams atlikti naudojami visi eksperimentiniai duomenys jos reikšmė svyruoja nuo 1 iki 0,7. Paveikslo b) dalyje autokoreliacinės funkcijos reikšmė svyruoja nuo 1 iki 0,6 ir c) dalyje – nuo 1 iki 0,5.



25 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-10, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

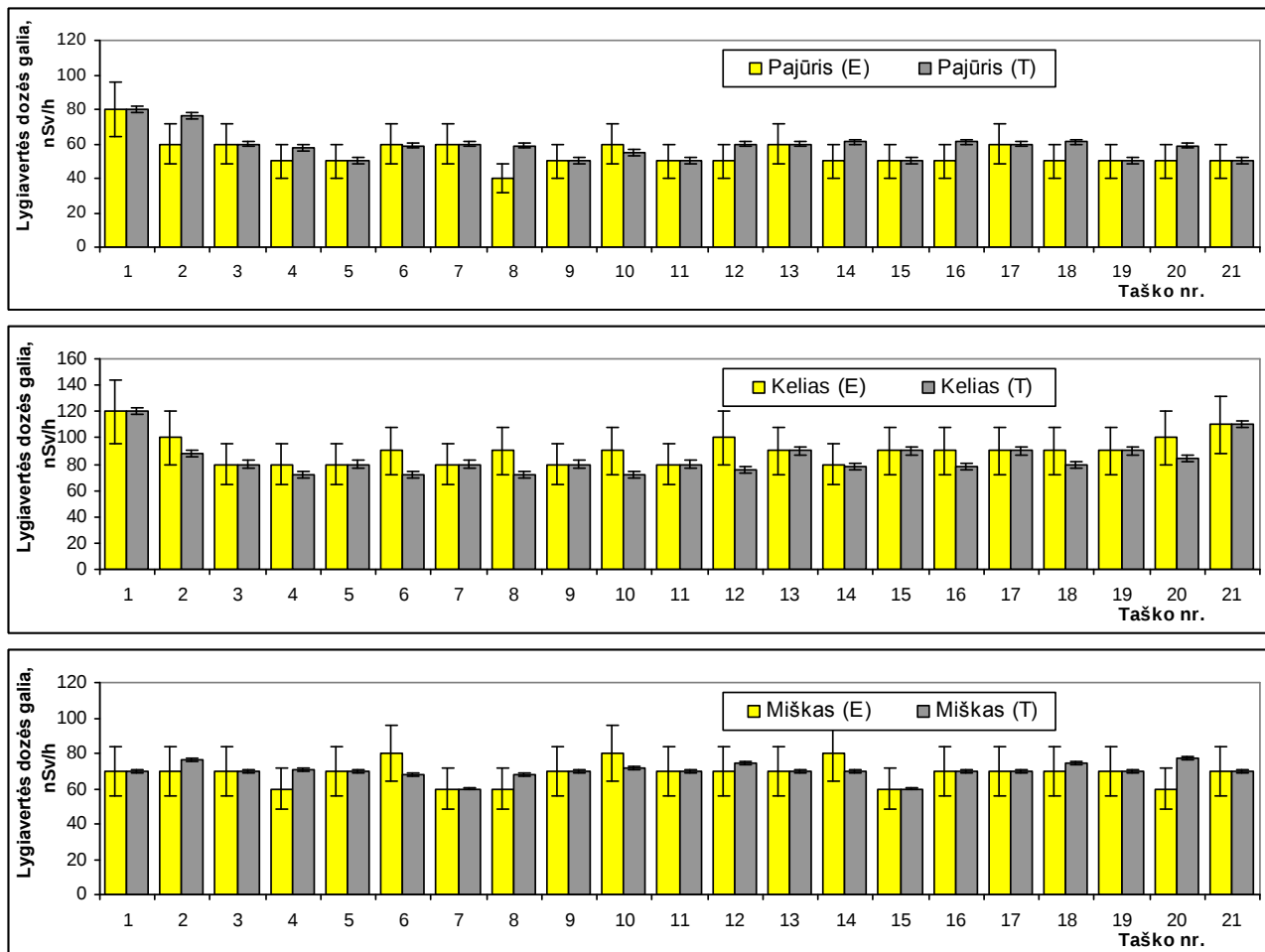


26 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-10, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

25 ir 26 paveiksluose, kuriuose, esant pietų krypties vėjui, pavaizduotas LDG laukas prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje 2008-07-10, panaudojant lauko struktūrai atkurti visus 63 eksperimentinius duomenis (a) ir paliekant tik 33 (b) ir 18 (c). Čia laukų struktūros taip pat turi panašias formas, tačiau, esant mažesniai eksperimentinių duomenų skaičiui, stebimas lauko susilyginimas. Lyginant LDG laukų struktūras prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje stebimas LDG verčių padidėjimas centro link. Tai atsitinka dėl tos priežasties, kad centre

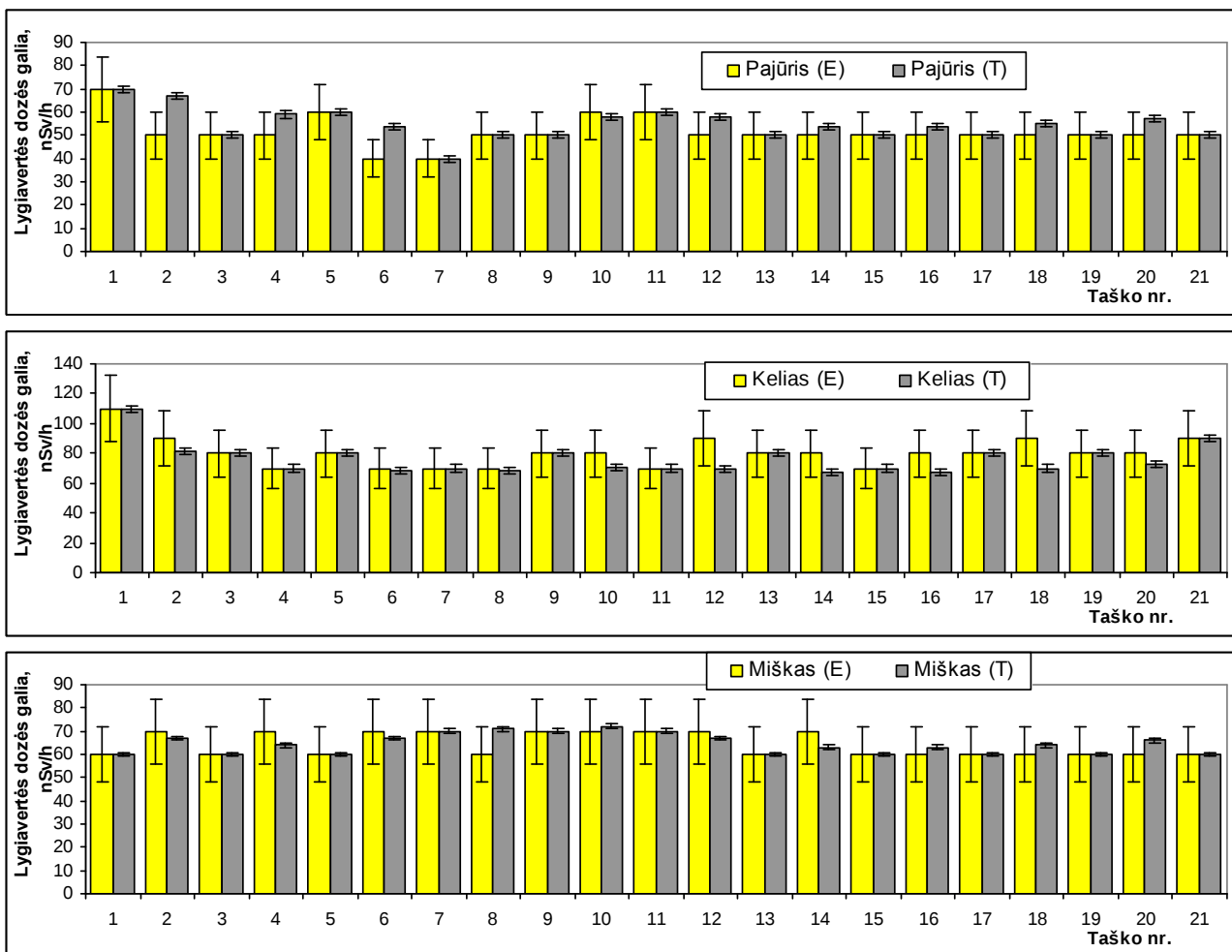
pasirinktas ruožas yra asfaltuotas kelias ir todėl LDG padidėjimą įtakoja radionuklidai esantys asfalto dangoje. 26 paveiksle matosi, kad LDG augimas centro link yra mažesnis visais atvejais.

Toliau aptariamas LDG eksperimentinių duomenų ir modeliavimo rezultatų sutapimas.



27 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

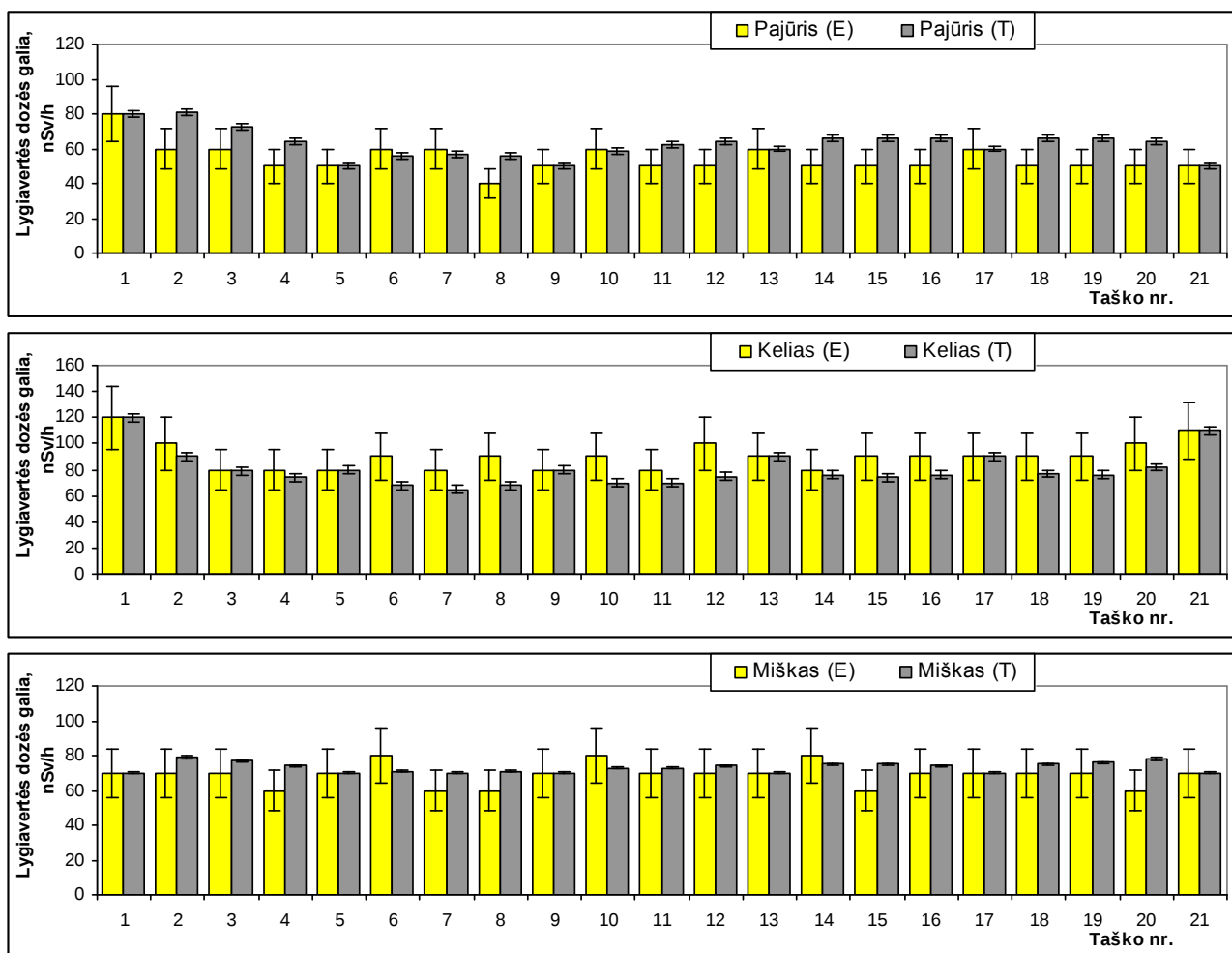
27 paveiksle parodyta situacija, kai eksperimentas atliktas prie žemės paviršiaus ir skaičiavimam naudoti 33 eksperimentiniai duomenys. Pajūrio ruože 76 % modeliavimo rezultatai sutampa paklaidos ribose. Kelio ir miško ruožuose sutapimas tarp eksperimentinių ir modeliavimo rezultatai yra žymiai didesnis – 95 % sutapimas paklaidų ribose. Didžiausias nesutapimas stebimas pajūrio ruože, kuris siekia 48 % paklaidą. Bendrai visuose ruožuose 89 % modeliavimo rezultatai sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidų ribose.



28 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Kada eksperimentas atliktas vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus ir modeliavimui naudoti 33 eksperimentiniai duomenys (28 pav.), sutapimas stebimas žymiai didesnis. Pajūrio ir kelio ruožuose 90 % modeliavimo rezultatų neviršija paklaidos, o miško ruože sutampa su eksperimentu paklaidų ribose. Didžiausias nesutapimas pastebėtas pajūrio ruože – 35 %. Bendrai visuose ruožuose 94 % modeliavimo rezultatų sutampa paklaidų ribose.

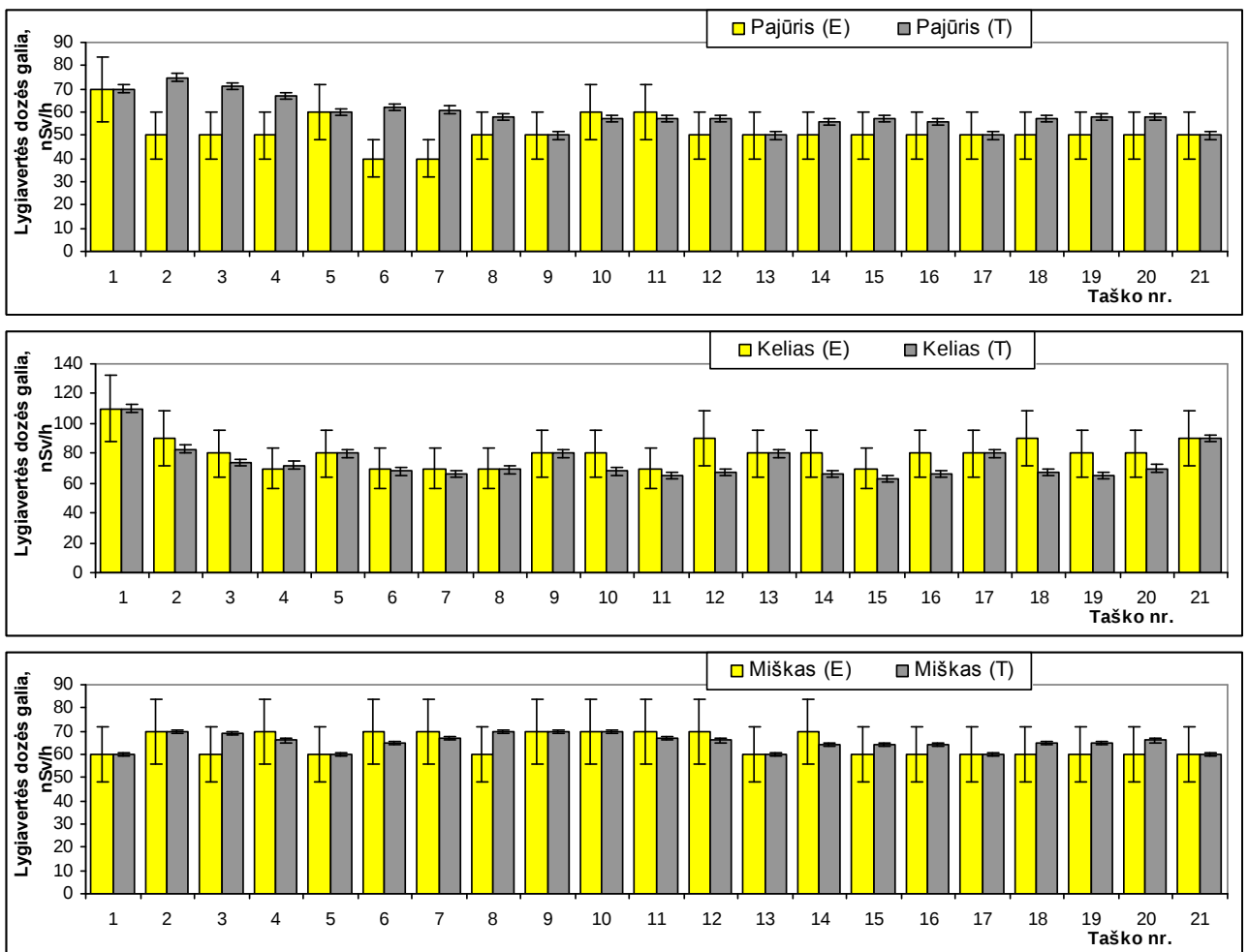
Toliau modeliavimui atlikti eksperimentiniai duomenys sumažinti pusiau – palikta 18 eksperimentinių duomenų.



29 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

29 paveiksle pateikti rezultatai kai eksperimentas atliktas prie žemės paviršiaus. Čia pajūrio ruože tik 43 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentiniais duomenimis. Kelio ruože sutampa 81 %, o miške 86 %. Didžiausias nukrypimas stebimas pajūrio ruože – 40 %. Bendrai visuose ruožuose 70 % modeliavimo duomenų sutampa neviršydami 20 % paklaidos.

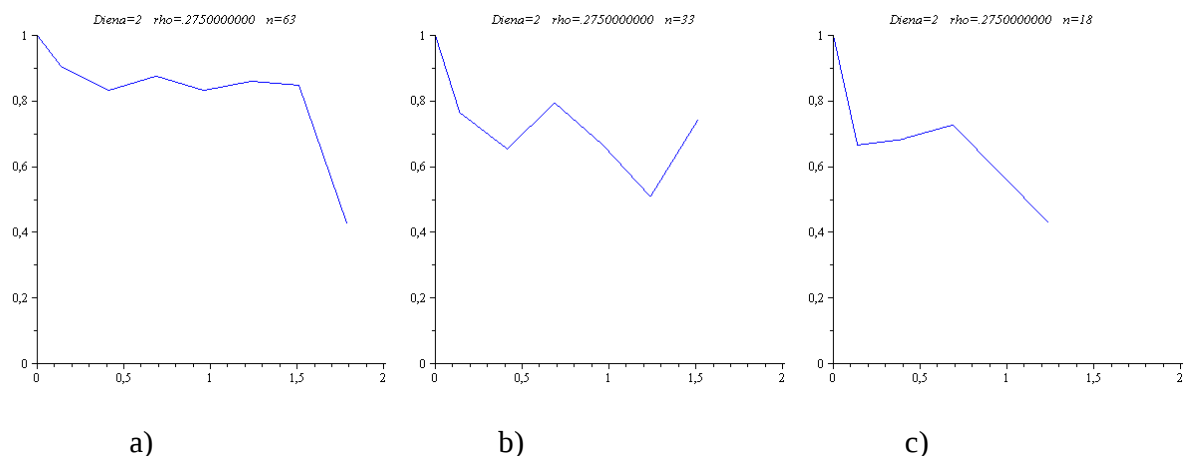
Kai eksperimentas buvo atliktas vieno metro aukštyje, modeliavimo ir eksperimentinių rezultatų sutapimas ženkliai didesnis.



30 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

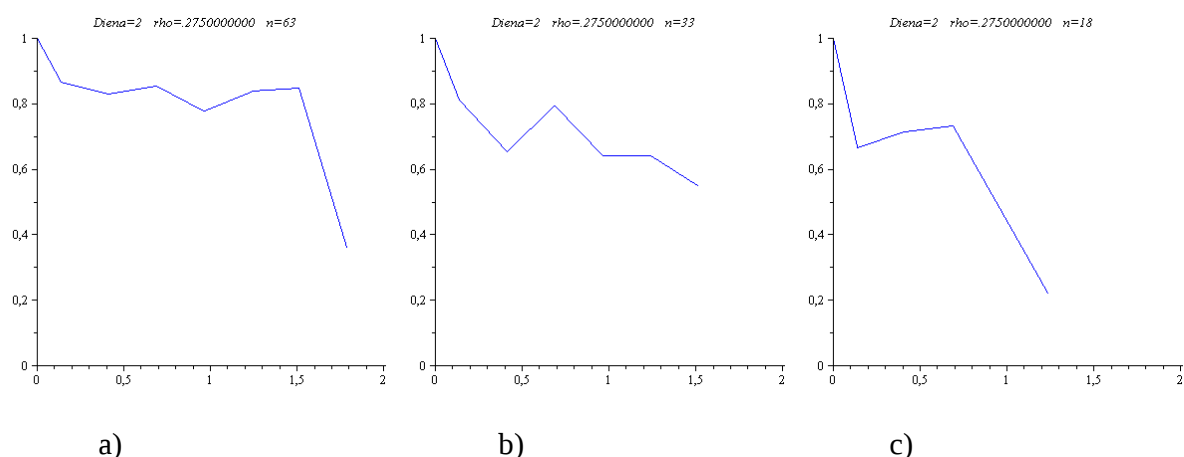
Čia (30 pav.) pajūrio ruože 76 % modeliavimo duomenų sutampa su eksperimentiniais paklaidų ribose. Kelio ruože 90 % sutapimas, o miško ruože teoriniai skaičiavimai su eksperimentiniais duomenimis sutampa. Nežiūrint į tai, kad rezultatų sutapimas geresnis nei prie žemės paviršiaus, pajūrio ruože nesutapimas atskiruose taškuose siekia net iki 55 %. Tačiau bendrai visais atvejais 88 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentu neviršijant 20 % paklaidos.

Sekantis atvejis kai eksperimentiniai matavimai buvo atlikti pučiant rytų vėjui ir jo greitis užfiksuotas 2 m/s. Autokoreliacinių funkcijų prie žemės paviršiaus (31 pav.) ir vieno metro aukštyje (32 pav.) visais atvejais ryšys tarp lygiavertės dozės galio lauko elementų yra silpnas, lyginant jas su 2008-07-02 ir 2008-07-10 gautom autokoreliacijos reikšmėm.



31 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-07, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

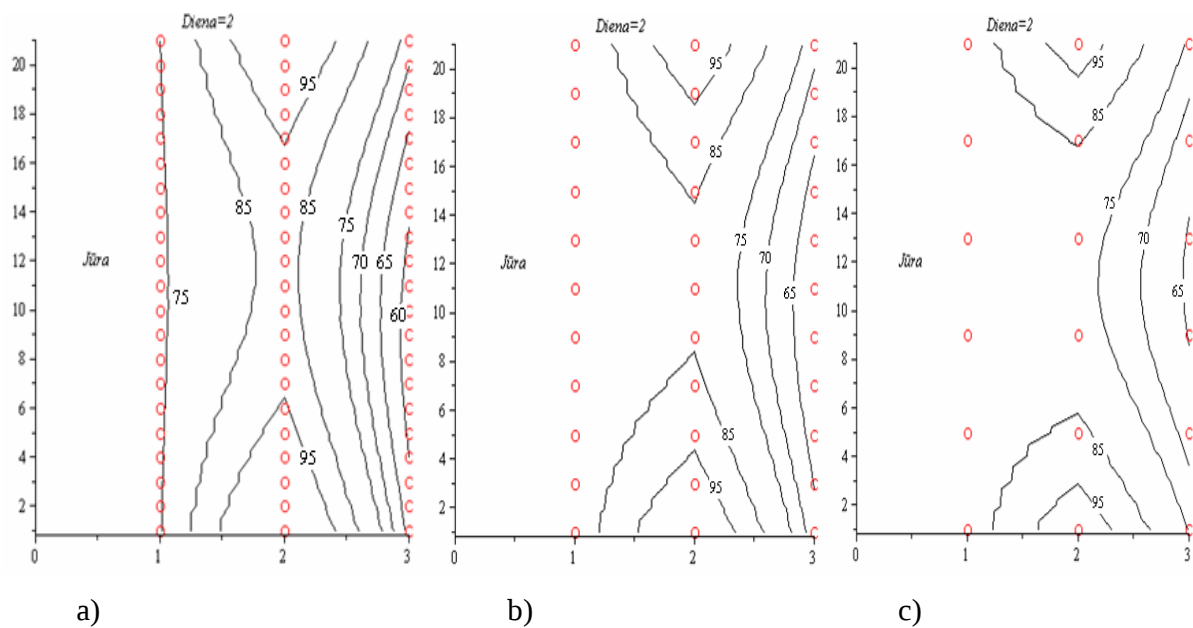
31 paveiksle, kai autokoreliacinei funkcijai apskaičiuoti naudojami visi 63 eksperimentiniai duomenys ir kai skaičiavimams naudojama 18 duomenų, reikšmės svyruoja nuo 1 iki 0,4. Kai palikti 32 eksperimentiniai rezultatai autokoreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja nuo 1 iki 0,5.



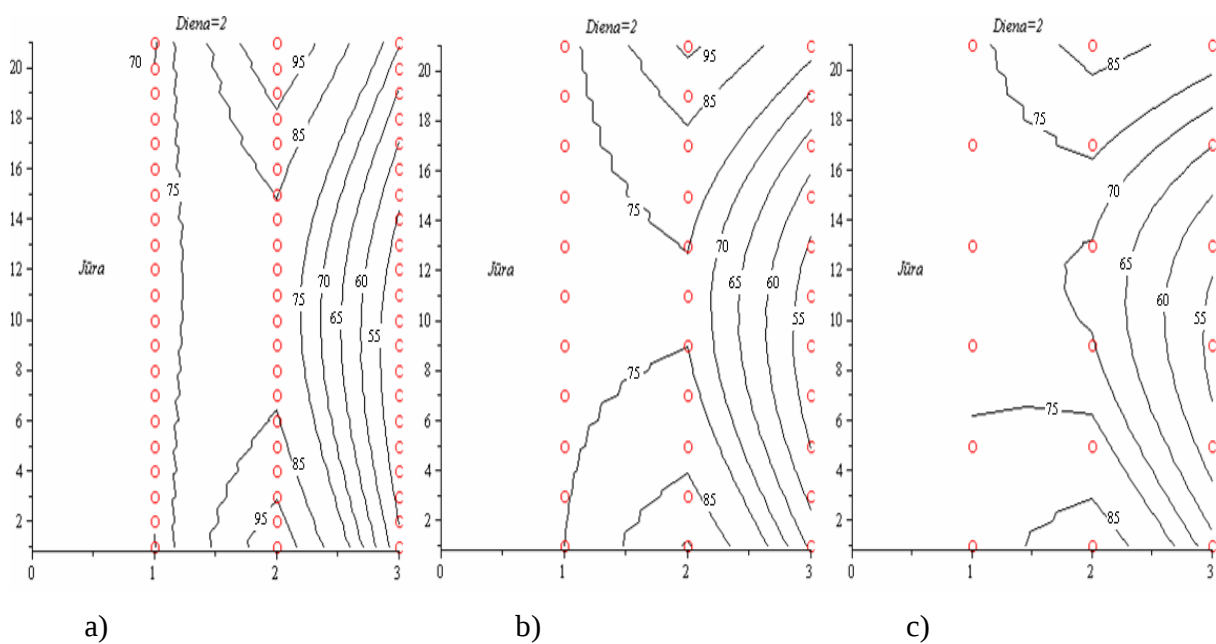
32 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-07, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

Vieno metro aukštyje (32 pav.) koreliacinis ryšys praktiškai toks pats kaip ir prie žemės paviršiaus (31 pav.), tik skiriasi reikšmių intervalas, kai skaičiavimams paliekama 18 eksperimentinių duomenų. Be to, abiem atvejais stipresnis koreliacinis ryšys tarp LDG lako elementų stebimas kai teoriniams skaičiavimams paliekama 33 eksperimentiniai duomenys.

33 ir 34 paveiksluose, kuriuose, esant rytų krypties vėjui, pavaizduotas LDG laukas prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje 2008-07-07, panaudojant lauko struktūrai atkurti visus 63 eksperimentinius duomenis (a) ir paliekant tik 33 (b) ir 18 (c).



33 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-07, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

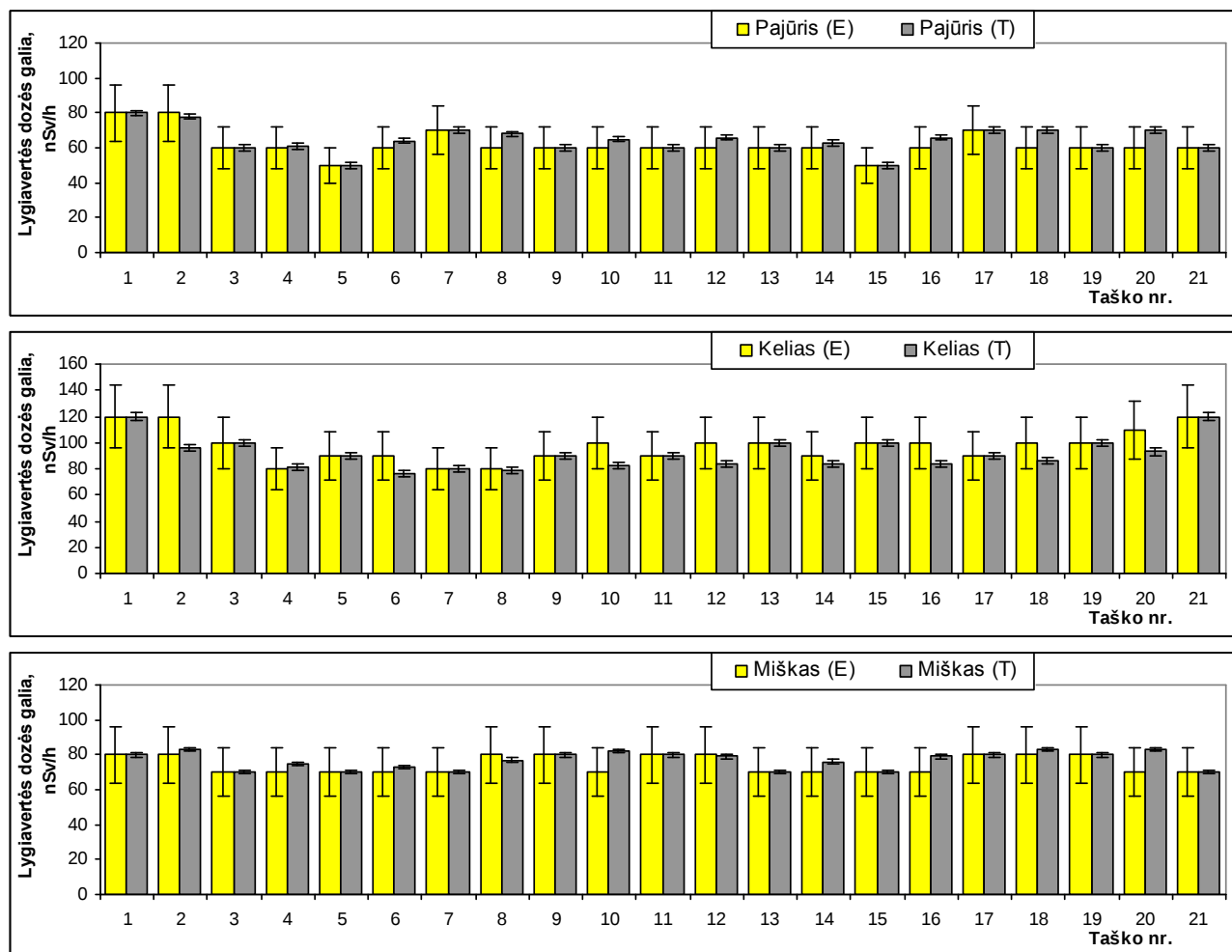


34 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-07, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

Čia laukų struktūros taip pat turi panašias formas ir esant mažesniai eksperimentinių duomenų skaičiui, stebimas lauko susilyginimas. Lyginant LDG laukų struktūras prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje stebimas LDG verčių padidėjimas centro link. Taip atsitinka dėl tos priežasties, nes centre pasirinktas ruožas yra asfaltuotas kelias ir todėl jis yra laikomas

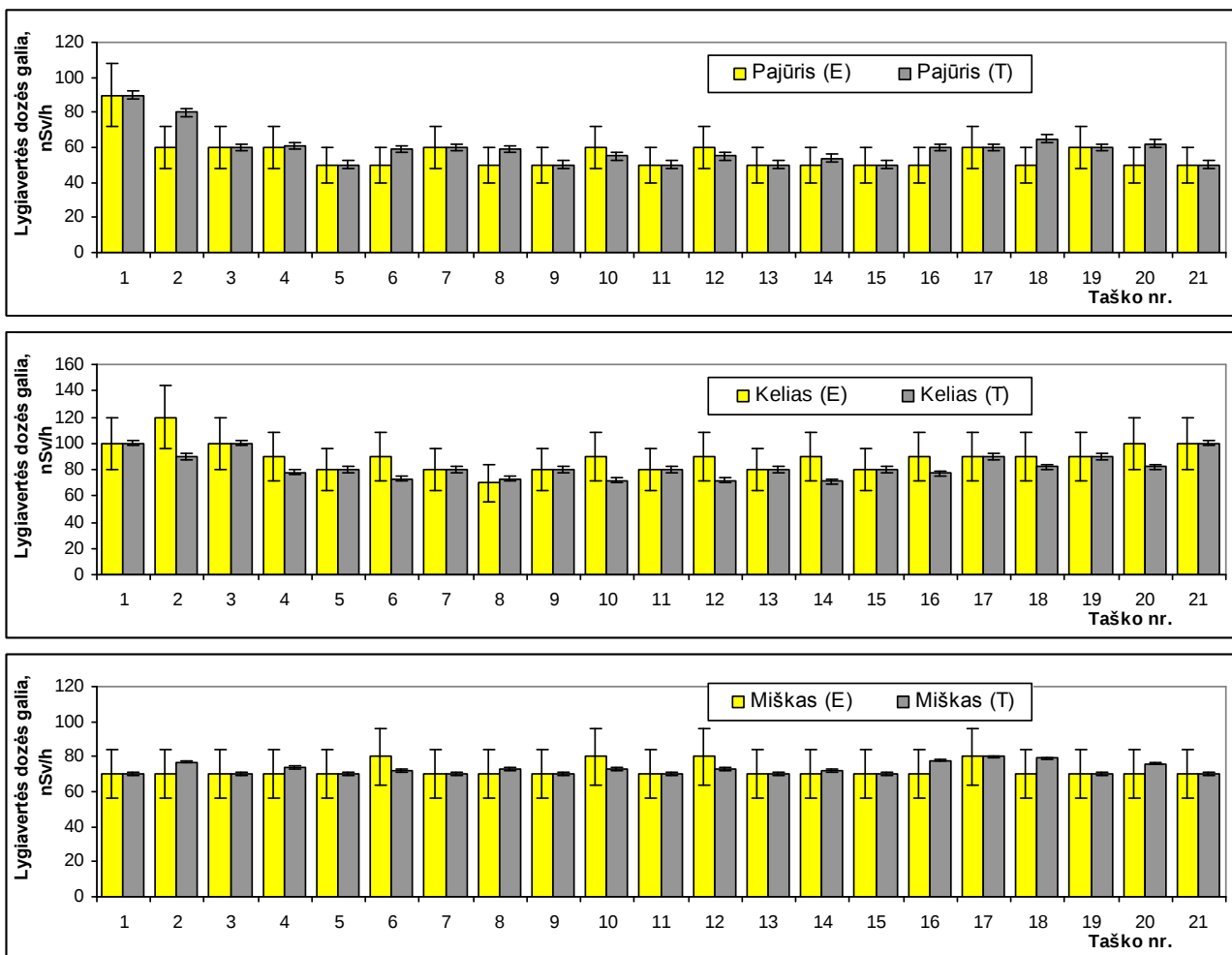
papildomu jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniu. Prie žemės paviršiaus (34 pav.) matosi, kad LDG augimas centro link yra mažesnis visais atvejais.

Sekančiuose paveiksluose pavaizduotas LDG eksperimentinių duomenų ir modeliavimo sutapimas paklaidų ribose, kai skaičiavimams paliekama 33 (35, 36 pav.) ir 18 (37, 38 pav.) eksperimentinių duomenų.



35 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

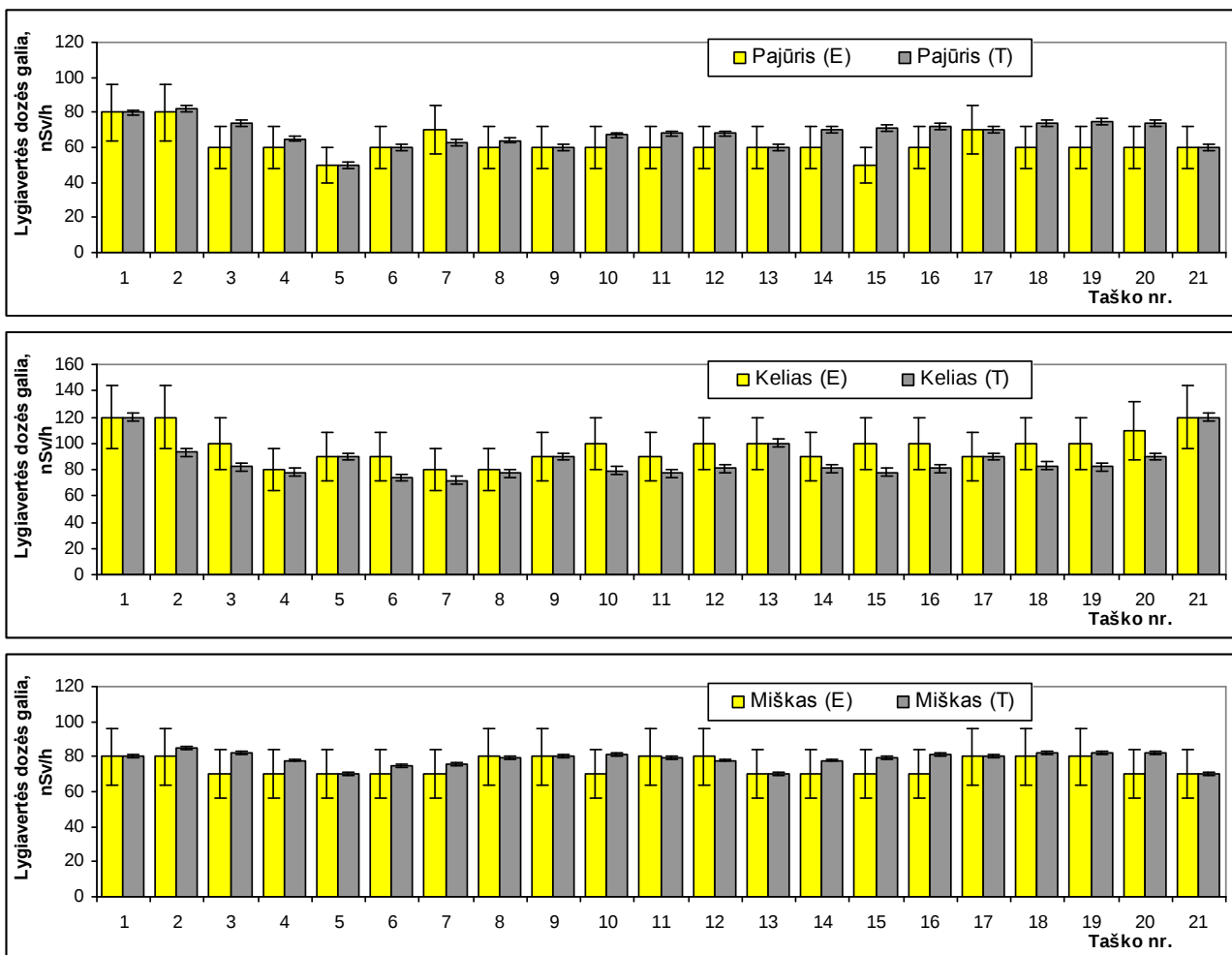
Prie žemės paviršiaus (35 pav.), kai naudojami 33 eksperimentiniai duomenys, visuose ruožuose teoriniai rezultatai sutampa su eksperimentiniais paklaidų ribose.



36 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (36 pav.) pajūrio ruože 86 % modeliavimo duomenų sutampa paklaidos ribose ir čia stebimas didžiausias skirtumas – 33 %. Kelio ruože sutampa 90 %, o miške visi teoriniai duomenys neviršija 20 % paklaidos. Bendrai visuose ruožuose 92 % modeliavimo sutampa su eksperimentiniais duomenimis paklaidos ribose.

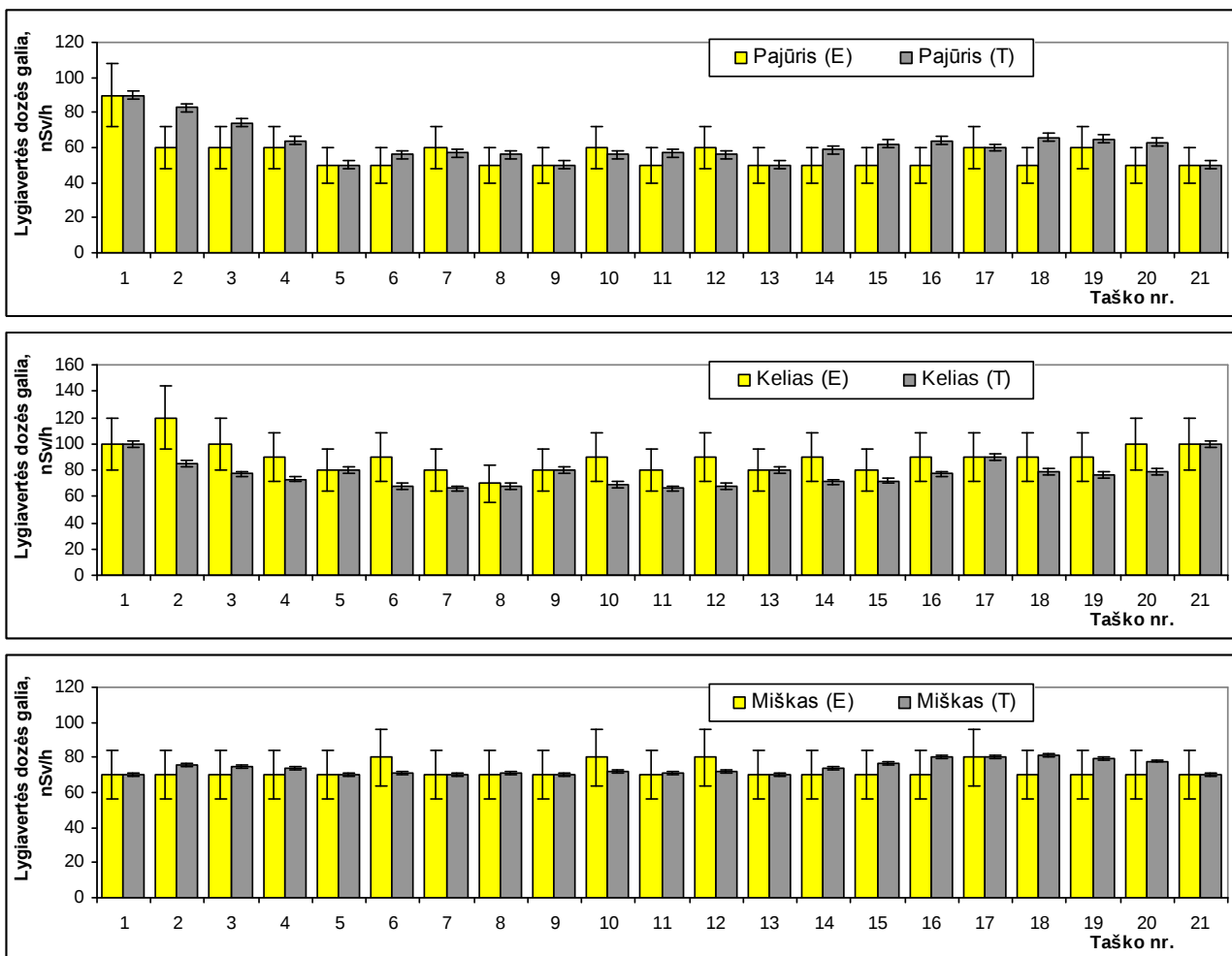
Kai naudojama 18 eksperimentinių duomenų, prie žemės (37 pav.) ir vieno metro aukštyje (38 pav.) skirtumas žymiai didesnis negu naudojant 33 eksperimentinius rezultatus.



37 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-07, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

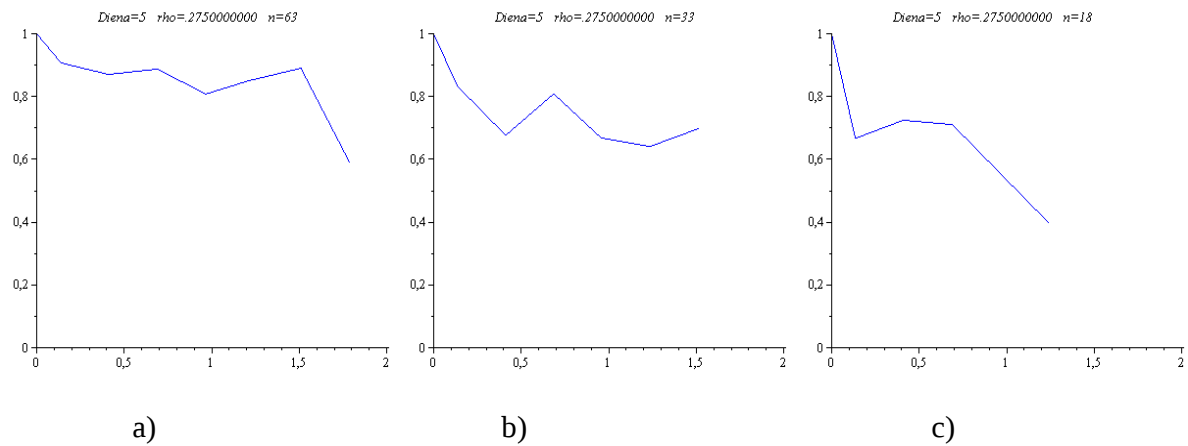
Taigi prie žemės paviršiaus, pajūrio ruože 76 % modeliavimo duomenų sutampa paklaidų ribose. Taip pat šiame ruože nustatytas didžiausias nesutapimas tarp modeliavimo ir eksperimentinių rezultatų, kuris siekia 42 %. Kelio ruože teoriniai duomenys sutampa 10 % daugiau, nei pajūrio ruože. Miško ruože teoriniai rezultatai sutampa su eksperimentu neviršydami 20 % paklaidos. Bendrai visuose ruožuose 81 % modeliavimo rezultatų neviršija eksperimentinių duomenų.

Vieno metro aukštyje (38 pav.) sutapimas tarp modeliavimo rezultatų ir eksperimentinių duomenų yra blogesnis nei prie žemės paviršiaus. Čia pajūrio ruože 76 % modeliavimo rezultatų sutampa paklaidos ribose. Taip pat pajūrio ruože stebimas pats didžiausias nesutapimas – 38 %. Kelio ruože 71 % modeliavimo rezultatų sutampa su eksperimentu, o kelio ruože visi rezultatai sutampa paklaidų ribose.

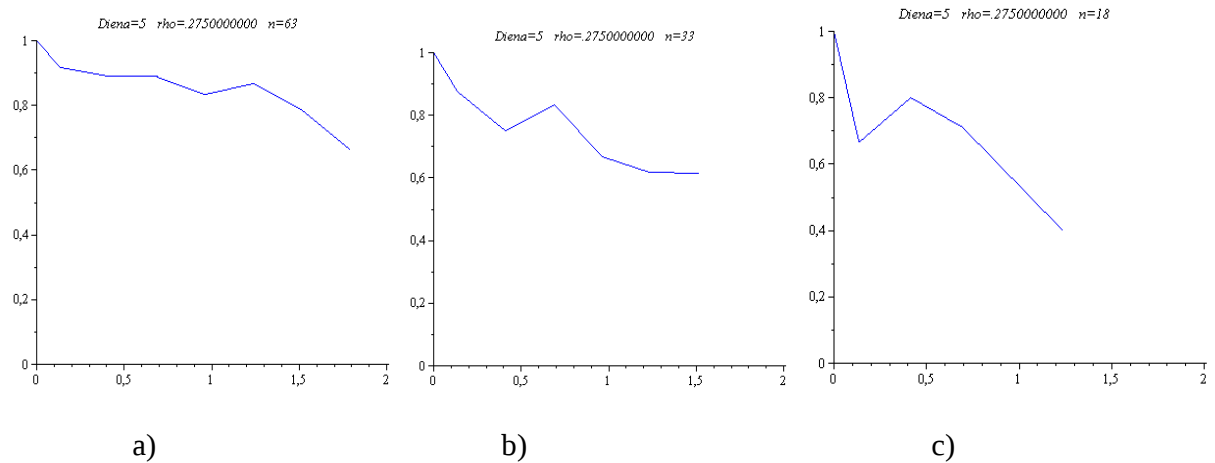


38 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-10, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Toliau nagrinėjami 2008-07-12 atlikto eksperimento duomenys, esant priešingos krypties vėjui - vakarų ir tokiam pačiam vidutiniam vėjo greičiui – 2 m/s, stebima panaši situacija, kaip ir 2008-07-07. Autokoreliacinių funkcijų prie žemės paviršiaus (39 pav.) ir vieno metro aukštyje (40 pav.) visais atvejais ryšys tarp LDG lauko elementų yra silpnėsnis, lyginant jas su 2008-07-02 ir 2008-07-10 gautom autokoreliacijos reikšmėm. 39 paveiksle koreliacinis ryšys yra stipresnis tuo atveju, kai naudojama daugiau eksperimentinių duomenų. Šio paveikslo a) ir b) dalyse pavaizduotos koreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja nuo 1 iki 0,6. c) dalyje autokoreliacinės funkcijos reikšmės svyruoja didesniame intervale – nuo 1 iki 0,4. Vieno metro aukštyje visais atvejais koreliacinis ryšys toks pats, kaip ir prie žemės paviršiaus (40 pav.).

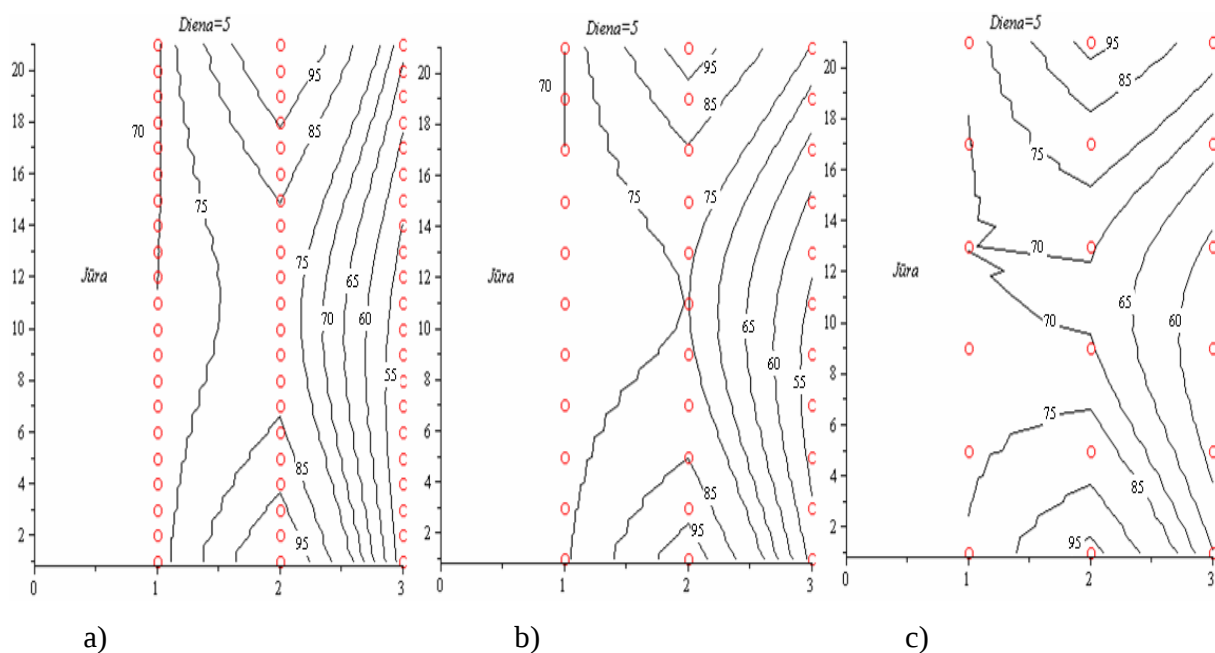


39 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-12, esant LDG laukui prie žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

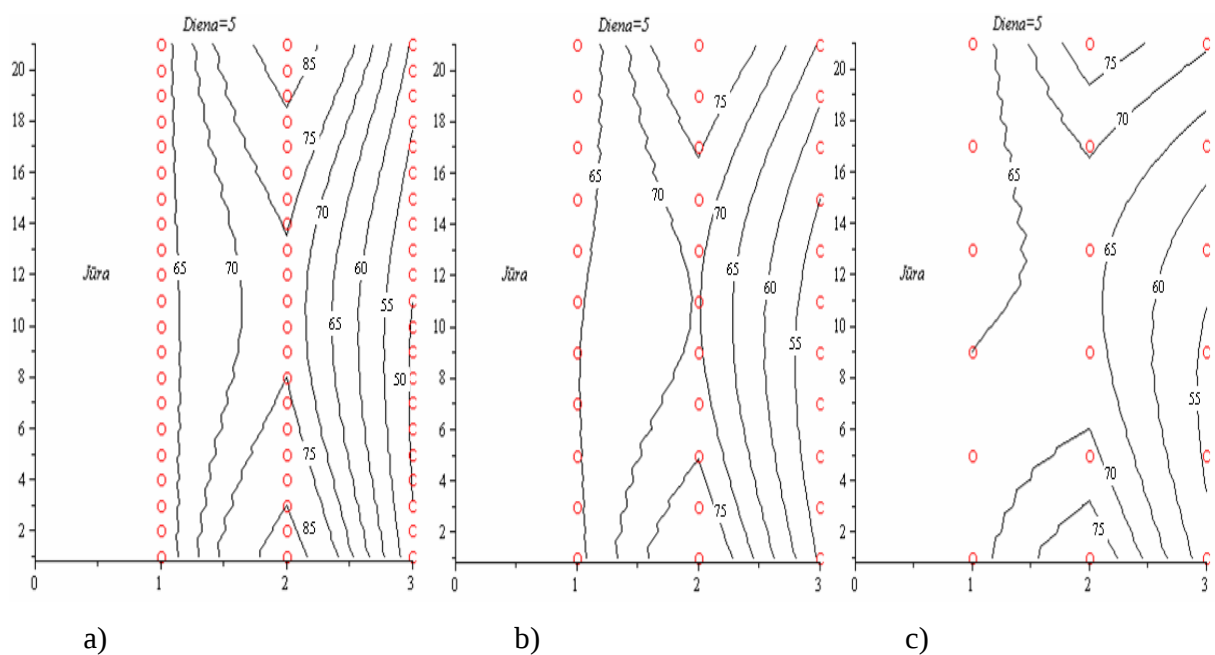


40 pav. Autokoreliacinės funkcijos, nustatytos 2008-07-12, esant LDG laukui vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti a) 63, b) 33 ir c) 18 eksperimentinių rezultatų

41 ir 42 paveiksluose, kuriuose, esant vakarų krypties vėjui, pavaizduotas LDG laukas prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje 2008-07-12, panaudojant lauko struktūrai atkurti visus 63 eksperimentinius duomenis (a) ir paliekant tik 33 (b) ir 18 (c).



41 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-12, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

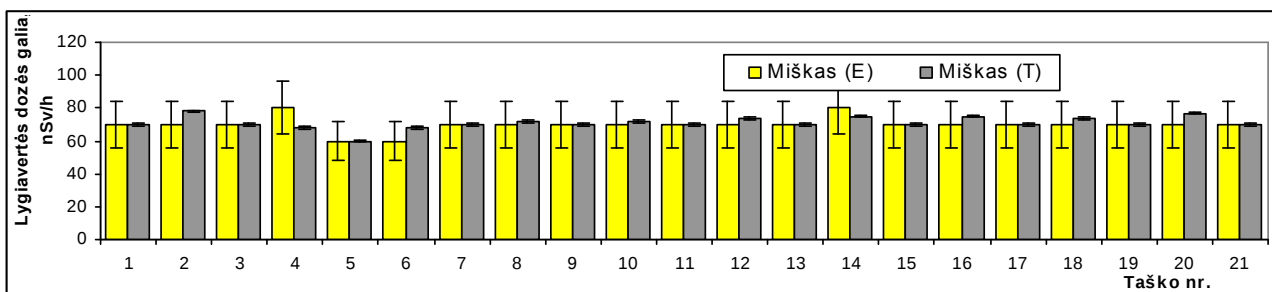
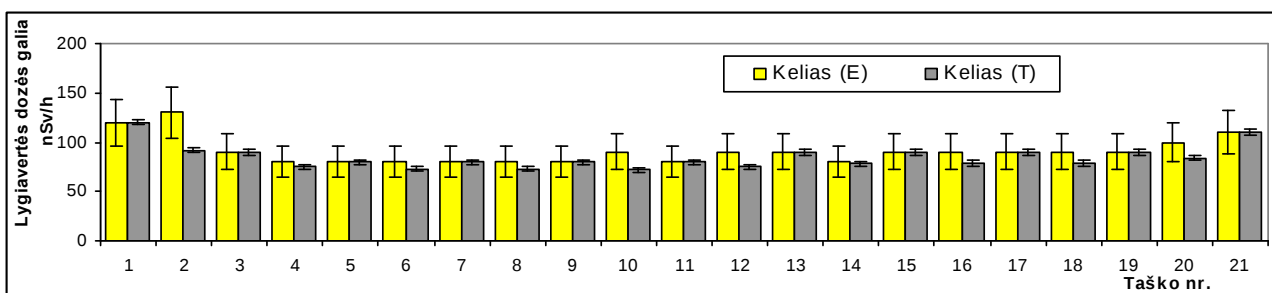
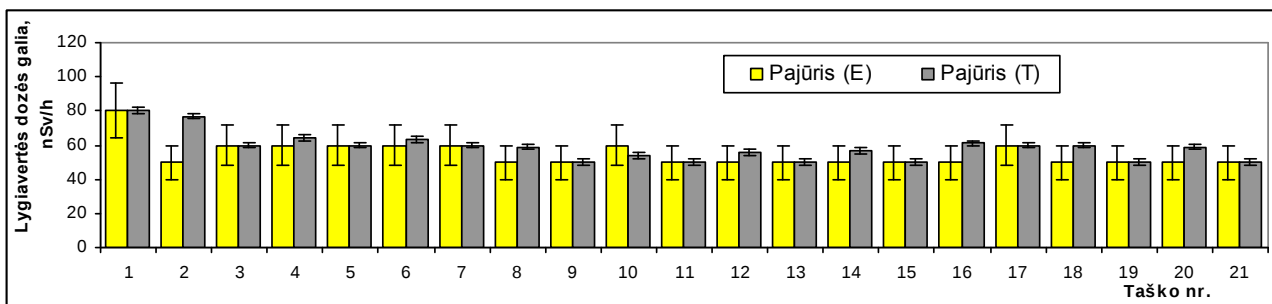


42 pav. LDG laukų struktūros (nSv/h) vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus 2008-07-12, kai teoriniame modelyje yra paliekama a) 63, b) 33, c) 18 eksperimentinių taškų

Čia laukų struktūros taip pat turi panašias formas ir esant mažesniai eksperimentinių duomenų skaičiui, stebimas lauko susilyginimas. Lyginant LDG laukų struktūras prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje stebimas LDG verčių padidėjimas centro link. Taip atsitinka

dėl tos priežasties, nes centre pasirinktas ruožas yra asfaltuotas kelias ir todėl jis yra laikomas papildomu jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniu. Vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (42 pav.) matosi, kad LDG augimas centro link yra mažesnis visais atvejais.

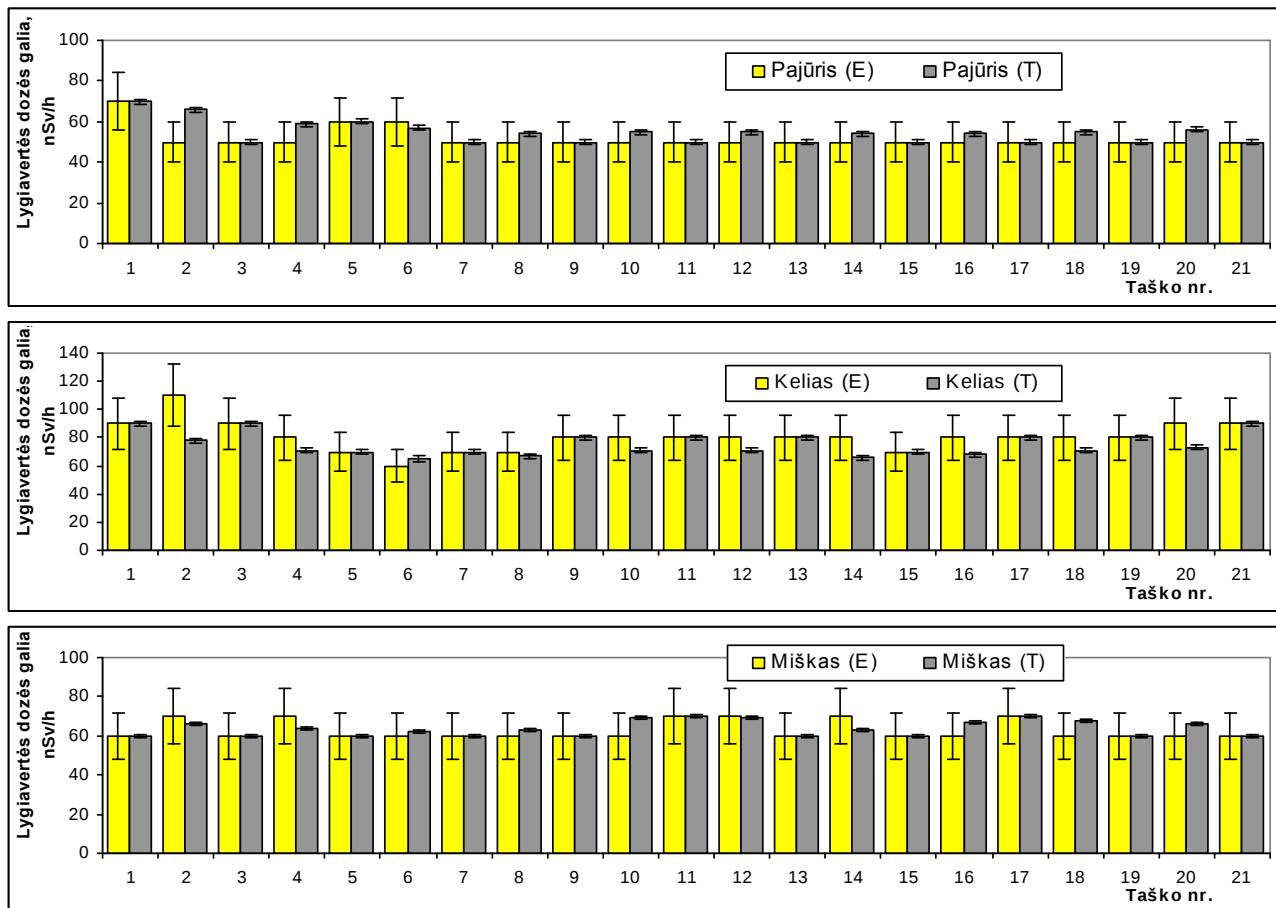
Sekančiuose paveiksluose pavaizduotas LDG eksperimentinių duomenų ir modeliavimo rezultatų sutapimas paklaidų ribose, kai skaičiavimams paliekama 33 (43, 44 pav.) ir 18 (45, 46 pav.) eksperimentinių duomenų.



43 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

43 paveiksle, pajūrio ruože prie žemės paviršiaus 90 % modeliavimo duomenų neviršija 20 % paklaidos, kelio ruože 95 %, o miško ruože eksperimentiniai rezultatai su teoriniais sutampa paklaidų ribose. Didžiausias nesutapimas atskirame taške stebimas pajūrio ruože, kuris siekia, net 54 % paklaidą. Bendrai visuose ruožuose 95 % modeliavimo duomenų sutampa neviršydami 20 % paklaidos.

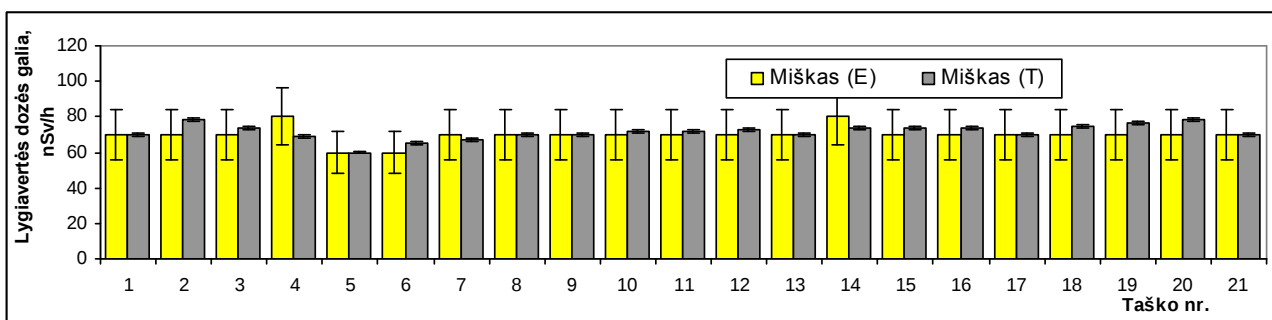
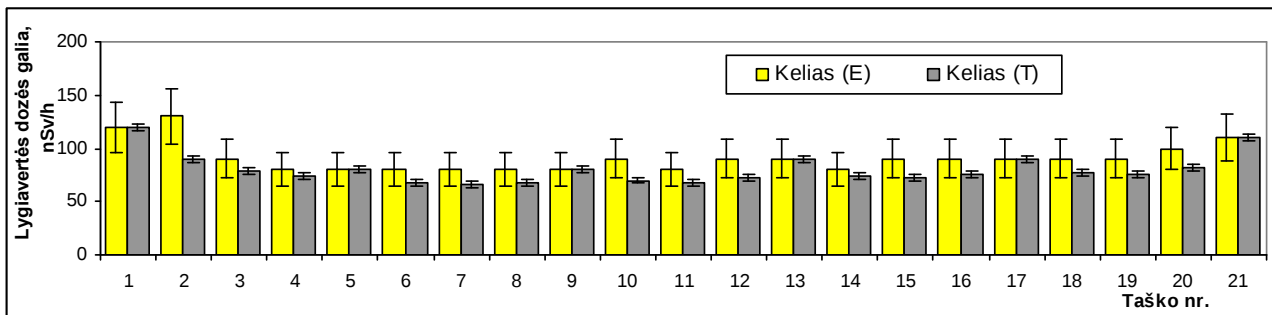
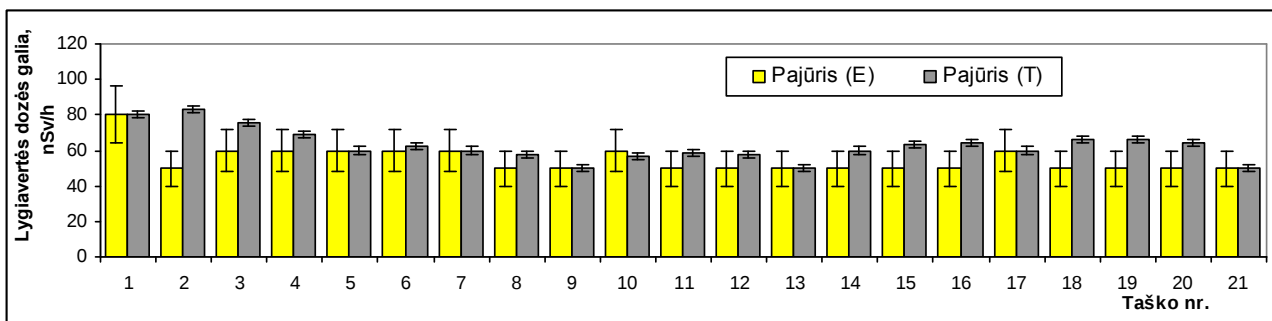
Toliau 44 paveiksle pateikiamas eksperimentinių ir modeliavimo duomenų palyginimas, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus.



44 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 33 eksperimentiniai taškai vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Šiame paveiksle ir pajūrio ir kelio ruožuose 95 % modeliavimo duomenų neviršija 20 % paklaidos. Taip kaip ir prie žemės paviršiaus miško ruože teoriniai duomenys su eksperimentiniais sutampa paklaidų ribose. Čia didžiausias nesutapimas stebimas taip pat pajūrio ruože – 32 %. Bendrai visuose ruožuose 97 % modeliavimo duomenų sutampa neviršydami 20 % paklaidos. Vieno metro aukštyje ir prie žemės paviršiaus 96 % modeliavimo duomenų sutampa su eksperimentu, neviršydami 20 %.

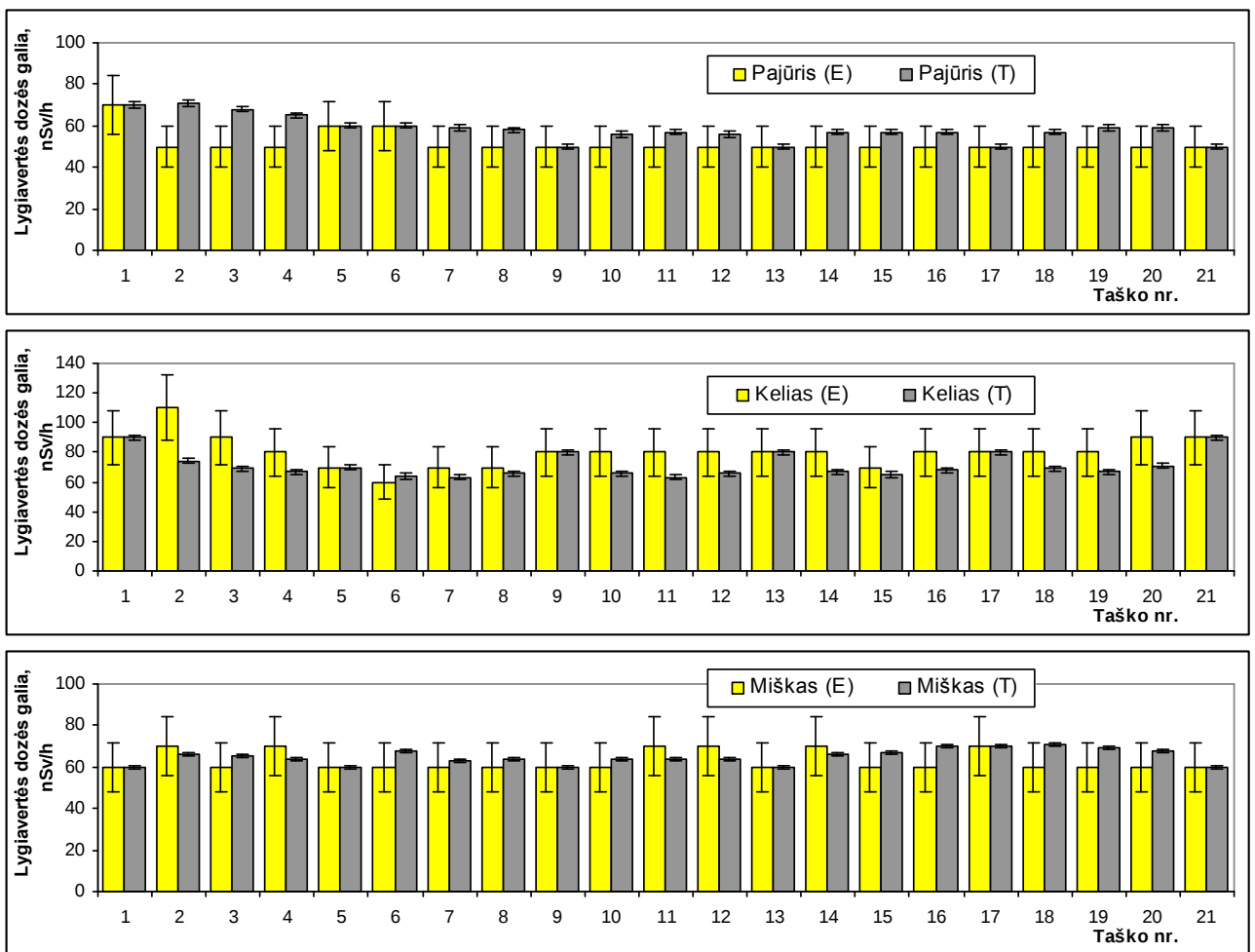
Toliau nagrinėjama situacija kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių rezultatų prie žemės paviršiaus (45 pav.) ir vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (46 pav.).



45 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekami 18 eksperimentinių taškų prie žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Esant tokiai situacijai, pajūrio ruože tik 67 % modeliavimo duomenų sutampa su eksperimentiniais neviršydami 20 % paklaidos. Kelio ruože panašiai kaip ir paliekant 33 eksperimentinius duomenis – 95 % neviršija 20 % paklaidos. Miško ruože nustatytas visiškasis duomenų sutapimas paklaidų ribose. Didžiausias nesutapimas nustatytas vėl pajūrio ruože, kuris siekia, net 66 %. Bendrai visuose ruožuose 83 % modeliavimo duomenų sutampa neviršydami 20 % paklaidos.

Toliau 46 paveiksle pateikiamas eksperimentinių ir modeliavimo duomenų palyginimas, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių duomenų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus.



46 pav. LDG eksperimentinių ir modeliavimo duomenų skirtumas 2008-07-12, kai teoriniam skaičiavimui paliekama 18 eksperimentinių taškų vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus (E – eksperimentas, T - teorija)

Vieno metro aukštyje ir paliekant 18 eksperimentinių duomenų teoriniam skaičiavimui, 86 % modeliavimo duomenų, pajūrio ruože sutampa paklaidų ribose, kelyje stebima šiek tiek mažiau sutapimų – 80 %. Miško ruože sutampa visi teoriniai duomenys su eksperimentu paklaidos ribose. Didžiausias nesutapimas stebimas pajūrio ruože, kuris siekia 32 % paklaidą. Bendrai žiūrint į šią situaciją galima teigti, kad 88 % modeliavimo duomenų neviršija 20 % paklaidos.

Lyginant laukų struktūros eksperimentinius ir teorinius duomenų skirtumus 2008-07-12 pastebėta, kad vieno metro aukštyje teoriniame modelyje, tiek paliekant 33 eksperimentinius taškus, tiek 18 taškų, skirtumas yra didesnis negu prie žemės paviršiaus. Pastebėta, kad paliekant ir 33 ir 18 eksperimentinių duomenų, eksperimentiniams skaičiavimams, miško ruože sutampa visi teoriniai skaičiavimai, neviršijant 20 % paklaidos. Bendru atveju šios paklaidos neviršija 86 % atkurtų duomenų naudojant optimalios interpoliacijos metodą ir simetrinį matematinį modelį.

IŠVADOS

1. Atliktas lygiavertės dozės galios (LDG) matavimas Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės gyvenvietės 2008 m. liepos 2, 7, 10 ir 12 d. LDG eksperimento rezultatų ekstremalios vertės buvo 50 nSv/h ir 120 nSv/h, o modeliuojant - 40 nSv/h ir 130 nSv/h .
2. Visais atvejais LDG vieno metro aukštyje virš žemės paviršiaus svyravo mažesniu intervalu (nuo 60 nSv/h iki 120 nSv/h) negu prie žemės paviršiaus (nuo 50 nSv/h iki 130 nSv/h).
3. Visais atvejais, modeliuojant LDG laukus pažemio ore, gautos autokoreliacinės funkcijos gana stiprios iki 0,7 – 0,8.
4. Gautos identiškos LDG laukų struktūros. Rasta, kad naudojant tik 18 matavimo rezultatų modelyje gaunamas patenkinamas eksperimentinių ir modeliavimo rezultatų sutapimas, t.y. jų skirtumas neviršija 20 % paklaidos iš 85 % duomenų palyginimo.
5. Modeliuojant pastebėta, kad visais atvejais miško ruože matavimo ir modeliavimo rezultatai visiškai sutampa paklaidų ribose. Didesni skirtumai gauti kelio ruože dėl asfalto dangos įtakos, o didžiausi skirtumai gauti pajūrio ruože dėl vėjo įtakos ir grunto savybių.
6. Nustatyta, kad vėjo greičiui vidutiniškai padidėjus 7 m/s, stebimas LDG vertės sumažėjimas apie 20 %.
7. Sumažinus eksperimentinę informaciją 3,5 kartų, iki 18 matavimo taškų, modeliuojant LDG laukų struktūrą, gauti rezultatai yra statistiškai patikimi.
8. Šį metodą ir modelį galima pritaikyti daug didesnėms teritorijoms. Tarp mazgų padidinus atstumą daug kartų gauti rezultatai nedaug skirtusi.

LITERATŪRA

- Ašmenskas J., Baubinas A. Aplinkos medicina. Vilnius.: Avicena, 1997. 118 p.
- Bollhofer, A., Storm, J., Martin, P., Tims, S. Geographic variability in radon exhalation at a rehabilitated uranium mine in the Northern Territory, Australia. Environmental Monitoring and Assessment, 2006. Vol 114, p. 313–330.
- Butkus D. Jonizuojanti spinduliuotė aplinkoje. Vilnius: Technika 2006, p. 83-86.
- 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.
- Conen, F. Variation of ^{222}Rn flux and its implication for tracer studies. Australia, 2004. No. 1201, p. 35–42.
- Griškevičius M., Šukys R., Čyras P. Gelbėjimo darbų strategija, taktika ir sauga. Vilnius. Technika 2005. 63 p.
- Guo, Q., Sun, K., Cheng, J. Methodology study on evaluation of radon flux from soil in China. Radiation Protection Dosimetry, 2004. Vol 112, p. 291–296.
- HN 85:2003 Lietuvos higienos norma. "Gamtinė apšvita. Radiacinės saugos normos". Vilnius: LR Sveikatos aps. Ministerija, 2002. 24 p.
- Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai <http://www.rsc.jonsp.saltiniai>. 2008. 16 p.
- Lebedytė, M.; Butkus, D. Equivalent dose rate in the ground level air caused by the ^{222}Rn progeny gamma radiation. Environmental engineering. Vilnius, V.IX, No 3, 2001, p. 153-157.
- Lebedytė, M.; Butkus, D.; Morkūnas, G. Variations of the ambient dose equivalent rate in the ground level air. Journal of Environmental Radioactivity, No 64, 2003, p. 45-57.
- Lebedytė M. Gama spinduliuotės intensyvumo laukų pažemio ore ir jų kaitos Lietuvoje tyrimai. Daktaro disertacija, 2001, 105 p.
- Levin I., Born M., Cuntz M., Langendorfer U., Mantsch S., Naegler T., Schmidt M., Varlagin A., Verclas S., Wagenbach D. Observations of atmospheric variability and soil exhalation rate of radon-222 at a Russian forest site. Technical approach and deployment for boundary layer studies, 2002.
- Martin, P., Tims, S., Ryan, B., Bollhofer, A. A radon and meteorological measurement network for the Alligator Rivers Region, Australia. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. Vol 76, p. 35–49.

Pečiūlienė M., Jasaitis D., Grigaliūnaitė – Vansevičienė G., Girgždys A. Changes of ionizing radiation caused by natural radionuclides in the Curonian Spit. Vilnius: 2005, Vol XIII, No 1, p. 37 – 42.

Radiacinės saugos centras: dažniausiai užduodami klausimai ir atsakymai į juos [žiūrėta 2004 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <<http://rsc.lt/faq/index.html>>

Lowder W. M., Beck H. L. Cosmic-ray ionization in the lower atmosphere. Journal of Geophysical Research, 1966, p. 461-467.

Morkūnas G. Radiacinė sauga? Tai visai paprasta. Radiacinės saugos centras, 2004. 191 p.

Muller H., Prohl G.. ECOSYS-87: A dynamic model of assessing radiological consequences of nuclear accidents. Health physics, 1987, p. 232-252.

Nedveckaitė T., Whlström Björn, Skaržinskienė V. Ar pavojinga radiacija? Radiacija...jei įvyktų avarija atominėje elektrinėje. Vilnius: 2001, p. 17-69.

Porstendorfer J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. 1994, Journal of Aerosol Science, 1994, p. 219-263.

Sasaki T., Gunji Y., Okuda T. Mathematical Modeling of Radon Emanation. Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY. Tokyo: 2004, Vol. 41, No. 2, p. 142–151.

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.

Styra D., Kleiza J., Jokšas K., Gustas L. J. Mineralinio azoto, mineralinio fosforo pernašos ir vandens tėkmių Kuršių mariose matematinis modeliavimas. Ekologija. 2008. Vol. 54 . No. 3. p. 179 – 185.

Стыро, Б. И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Ленинград, Гидрометеиздат, 1968, 288 с.

Стыро Д. Б. *Вопросы ядерной гидрофизики*. Ленинград. Гидрометеиздат. 1989.

Tamašauskas A., Vosylis J., Radvilavičius Č.. Fizika. T.3. V.: Mokslas, 1992. 180 p.

Terrestrial sources of radiation: http://resources.iescan-science.ca/trek/radiation/final/earth_sources.html (žiūrėta 2008 05 15)

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR report. New York: 1998, 647 p.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposures from natural sources. UNSCEAR report. Vienna: 1997, 60 p.

WHO working group. Health hazards from radioceesium following the Chernobyl nuclear accident. Journal of environmental Radioactivity, 1995, p. 275-295.

John Wiley & Sons inc. Atoms, radiation and radiation protection. By James E. Turner, New York: 1995, p.100-112.

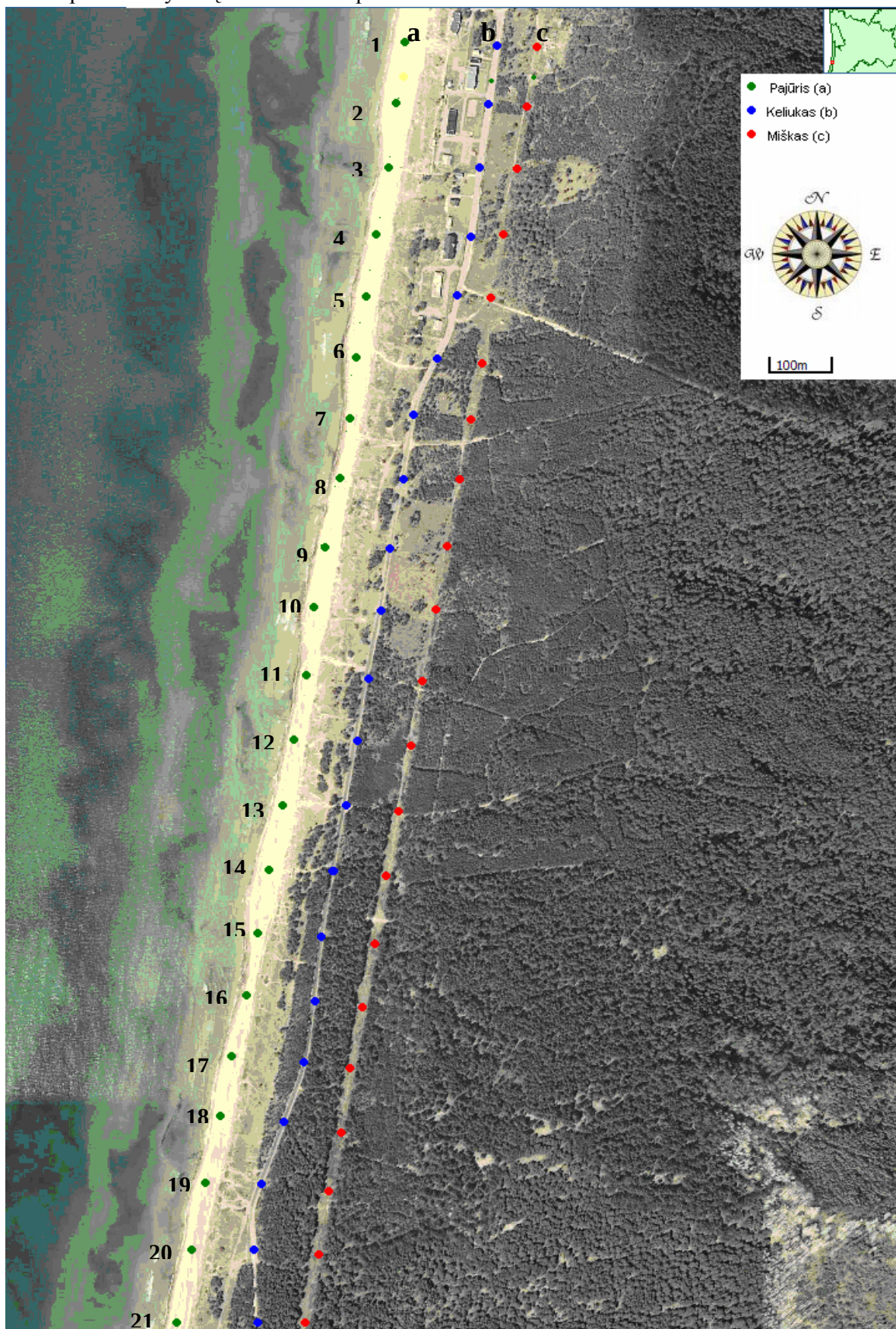
Valiukėnas V., Makariūnienė E., Morkūnas G. Jonizuojančiosios spinduliuotės ir radiacinės saugos terminų žodynas. Vilnius: Litimo, 1999. 150 p.

VAE (http://www.vae.lt/lt/pades/apie_radioaktyviasias_atliekas) Visagino atominės elektrinės projektas Lietuvoje. 2008-12-11.

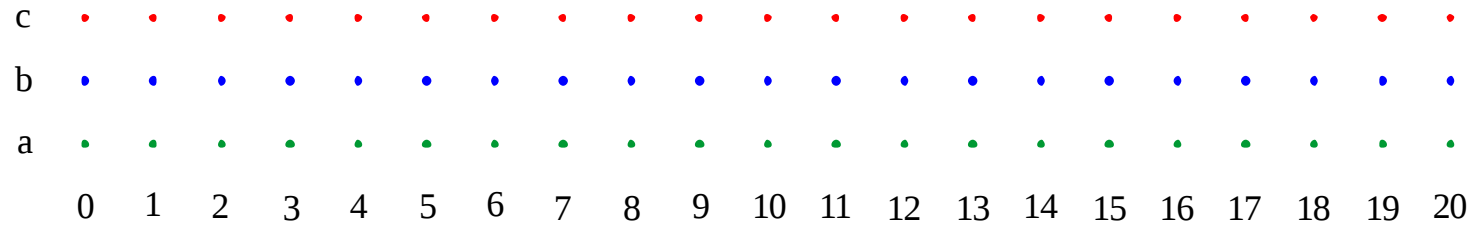
Zahorowski, W., Chambers, S.D., Henderson-Sellers, A. Ground based radon- 222 observations and their application to atmospheric studies. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. Vol 76, p. 3–33.

PRIEDAI

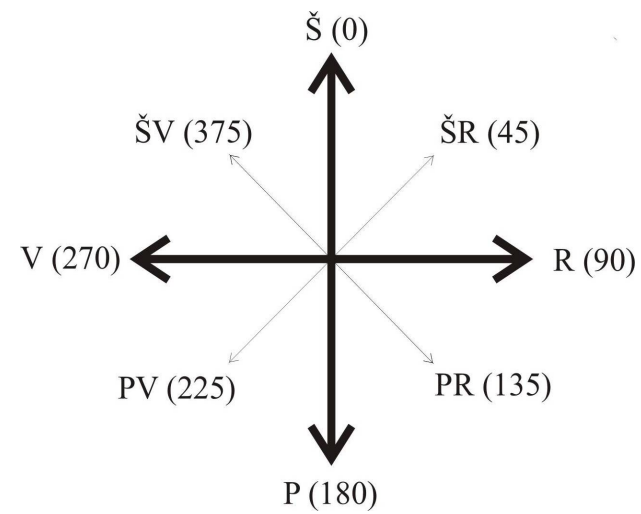
1 priedas. Tyrimų vietos žemėlapis



2 priedas. Struktūrinė tyrimų schema



- • • Elektros stulpai
- • • Keliukas
- • • Pajūris



Atstumas tarp taškų 100 m (1:100)

3 priedas. LDG matavimo rezultatai (nSv/h) Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės 2008 m. liepos 2, 7, 10 ir 12 dienomis.

Data	2008.07.02						2008.07.07						2008.07.10						2008.07.12					
Stebėjimo vieta	Pajūris		Kelias		Miškas		Pajūris		Kelias		Miškas		Pajūris		Kelias		Miškas		Pajūris		Kelias		Miškas	
Atstumas nuo žemės paviršiaus, m	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Taško nr.																								
1	70	70	130	100	70	70	80	90	120	100	80	70	80	70	120	110	70	60	80	70	120	90	70	60
2	60	60	120	100	70	70	80	60	120	120	80	70	60	50	100	90	70	70	50	50	130	110	70	70
3	60	60	80	70	70	60	60	60	100	100	70	70	60	50	80	80	70	60	60	50	90	90	70	60
4	60	60	80	80	70	60	60	60	80	90	70	70	50	50	80	70	60	70	60	50	80	80	80	70
5	50	50	70	60	70	60	50	50	90	80	70	70	50	60	80	80	70	60	60	60	80	70	60	60
6	50	50	80	70	70	70	60	50	90	90	70	80	60	40	90	70	80	70	60	60	80	60	60	60
7	50	50	90	70	70	60	70	60	80	80	70	70	60	40	80	70	60	70	60	50	80	70	70	60
8	50	50	70	60	70	60	60	50	80	70	80	70	40	50	90	70	60	60	50	50	80	70	70	60
9	50	50	80	90	70	60	60	50	90	80	80	70	50	50	80	80	70	70	50	50	80	80	70	60
10	50	50	90	80	70	60	60	60	100	90	70	80	60	60	90	80	80	70	60	50	90	80	70	60
11	60	60	90	80	60	60	60	50	90	80	80	70	50	60	80	70	70	70	50	50	80	80	70	70
12	50	50	80	70	70	70	60	60	100	90	80	80	50	50	100	90	70	70	50	50	90	80	70	70
13	50	50	90	90	70	60	60	50	100	80	70	70	60	50	90	80	70	60	50	50	90	80	70	60
14	50	50	80	70	70	60	60	50	90	90	70	70	50	50	80	80	80	70	50	50	80	80	80	70
15	50	50	80	80	60	60	50	50	100	80	70	70	50	50	90	70	60	60	50	50	90	70	70	60
16	50	50	80	80	60	60	60	50	100	90	70	70	50	50	90	80	70	60	50	50	90	80	70	60
17	60	60	90	80	70	60	70	60	90	90	80	80	60	50	90	80	70	60	60	50	90	80	70	70
18	60	50	100	90	70	60	60	50	100	90	80	70	50	50	90	90	70	60	50	50	90	80	70	60
19	50	50	90	80	70	60	60	60	100	90	80	70	50	50	90	80	70	60	50	50	90	80	70	60
20	50	50	110	90	70	60	60	50	110	100	70	70	50	50	100	80	60	60	50	50	100	90	70	60
21	50	50	130	100	70	60	60	50	120	100	70	70	50	50	110	90	70	60	50	50	110	90	70	60
Vidutinė reikšmė	54	53	91	80	69	62	62	56	98	90	74	72	54	51	90	80	69	64	55	52	91	80	70	63
Vėjo greitis, m/s	6 ±1		3 ±1		8 ±1		2 ±1		1 ±1		2 ±1		5 ±1		3 ±1		2 ±1		3 ±1		3 ±2		1 ±1	
Vėjo kryptis	S		S		S		R		R		R		P		P		P		V		V		V	



PUBLIKACIJA

OPTIMALIOS INTERPOLIACIJOS METODO TAIKYMAS LYGIAVERTĖS DOZĖS GALIOS LAUKO STRUKTŪROS NUSTATYMOI BALTIJOS JŪROS PRIEKRANTĖJE

Dmitrijus Styra¹, Linas Jonas Gustas², Mindaugas Lemežis³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

el. paštas ¹styra@fm.vgtu.lt; ²linasg@dtiltas.lt, ³lemezis.m@gmail.com

Anotacija. Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės atlikti lygiavertės dozės galios (LDG) matavimai prie žemės paviršiaus ir vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus. Matavimai atlikti 2008 m. liepos 2 ir 10 dienomis 63 taškuose (2,0×0,2) km teritorijoje esant šiaurės ir pietų vėjo kryptims. Vidutinių dydžių ekstremalios reikšmės buvo 51 nSv/h ir 90 nSv/h. Tai parodo, kad LDG laukų struktūra yra nehomogeninė. LDG laukų struktūrai nustatyti ir įvertinti buvo panaudotas optimalios interpoliacijos metodas trimis atvejais – kai tyrimų teritorijoje atlikta 63, 33 ir 18 matavimų. Gautas identiškos LDG laukų struktūros. Rasta, kad naudojant tik 18 matavimo rezultatų modelyje gaunamas patenkinamas eksperimentinių ir teorinių rezultatų sutapimas, t.y., jų skirtumas neviršija 15 % iš 80 % duomenų palyginimo.

Reikšminiai žodžiai: Kuršių nerija, radionuklidai, lygiavertės dozės galia, optimalios interpoliacijos metodas.

Ivadas

Natūralios kilmės radionuklidai patenka į aplinką iš dirvožemio, o taip pat susidaro sąveikaujant kosminiams spinduliams su oro molekulių branduoliais. Iš dirvožemio išsiskiria radonas ir jo skilimo produktai, kurie formuoja radioaktyviųjų medžiagų pagrindinę dalį atmosferos pažemio. Hidrosferoje dažniausiai pasitaikantis natūralios kilmės radionuklidas yra kalis-40 (Стыро 1968, Lebedytė et al. 2001, Lebedytė et al. 2003). Iki šiol egzistuoja dirbtinės kilmės globalios iškritos, kurios papildo bendrąjį aplinkos radioaktyvųjų foną (Стыро 1989).

Tačiau galimas neprognozuojamas radioaktyvusis poveikis, kuris gali žymiai pakeisti esamą radioaktyviąją pusiausvyrą. Dėl šios priežasties būtina aplinkos radioaktyvumo kontrolė. Tokia kontrolė turėtų būti vykdoma didelėse teritorijose, pavyzdžiui, Baltijos, Šiaurės jūrose, virš kontinentų regionų, atsižvelgiant į jų reljefą bei dirvožemio struktūras ir t.t. Tam tikslui reikia daug eksperimentinės informacijos apie esamą situaciją aplinkoje, o taip pat apie jos pokyčius erdvėje ir laike bei jos prognozę.

Eksperimentinės informacijos surinkimas didelėse teritorijose yra ilgalaikis ir brangus procesas. Todėl tai pačiai informacijai gauti esant mažesniai matavimų skaičiui naudojamas teorinis modelis – optimalioji interpoliacija. Šis modelis leidžia nustatyti lygiavertės dozės galią tose vietose, kur nebuvo atlikta matavimų, o taip pat skaičiavimo rezultatų paklaidą (Стыро 1989).

Šiame darbe imituojama radiacinė situacija, kuri galima didelėse teritorijose, bet keliomis eilėmis sumažinta ir taikoma mažiems plotams.

LDG matavimams buvo parinkta 0,4 km² teritorija Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės (1 pav.).

Darbo tikslas yra optimalios interpoliacijos metodo patikra ir LDG lauko realios struktūros atstatymo galimybė nedidelėse teritorijose, esant minimaliam matavimų skaičiui.

Lygiavertės dozės galios matavimų medžiaga ir metodika

Lygiavertės dozės galia (LDG) atmosferos pažemio sluoksnyje buvo nustatyta scintiliaciniu radiometru SRP-88N. Prietaisas pritaikytas darbui lauko sąlygomis, nešiojamas, maitinamas elektros

baterijomis. Jo pagrindiniai parametrai: energinis registracinis slenkstis –30 keV, santykinė matavimų paklaida 10 %, vieno matavimo laikas – 10 s, jutiklio kristalo NaI (TI) matmenys – (25×40) mm.

Lygiavertės dozės galia buvo matuojama virš natūralių ir dirbtinių šaltinių tam, kad surinkti duomenys turėtų nehomogeninių laukų struktūrą. Atlikti matavimai trijuose keliuose: išilgai jūros kranto (drėgnas smėlis), virš asfalto tako ir išilgai miško (sausas smėlis). Eksperimentiniai rezultatai gauti 63 taškuose, t.y., reguliaraus tinklo mazguose, tarp kurių atstumas yra 100 m. Matavimai buvo atlikti 2008-07-02 esant šiaurės krypties ir 6 m/s vidutiniam vėjo greičiui bei 2008-07-10 esant pietų krypties ir 3 m/s vidutiniam vėjo greičiui. Gautų rezultatų įvairūs variantai buvo panaudoti teoriniame modelyje.

Lygiavertės dozės galios lauko struktūrai atkurti panaudotas optimalios interpoliacijos metodas.

Šį metodą sudaro šie etapai:

1) tiriamo elemento optimali interpoliacija į tas vietas, kuriose nebuvo matavimų, arba į reguliaraus tinklo mazgus;

2) suderinamas procesas, numatantis ryšius tarp vieno ir to paties elemento lauko skirtingais laiko momentais;

3) klaidingų duomenų išaiškinimas ir pašalinimas arba jų ištaisymas.

Skaiciuojant lygiavertės dozės galios lauką, buvo priimta keletas prielaidų.

Tegul C_i – lygiavertės dozės galia taškuose ir $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$ – vidutinė lygiavertės dozės galios vertė, o C'_i – nuokrypa nuo vidurkio:

$$C'_i = C_i - \bar{C} \quad (1)$$

Pagrindinė taikomo optimaliosios interpoliacijos metodo charakteristika yra normuoti autokoreliacinė funkcija $\mu_k = \mu_k(\rho_k; \rho_{k+1})$, priklausanti nuo lygiavertės dozės galios taškuose, atstumas tarp kurių $\rho_k < \rho \leq \rho_{k+1}$. Taip pat ši funkcija priklauso nuo tų taškų koordinatų. Tada, prieš skaičiuojant autokoreliacinę funkciją $\mu(\rho_k)$, matavimo taškai padalijami į grupes, priklausomai nuo atstumo tarp jų. Siekiant automatizuoti skaičiavimo procesą, atstumas tarp i ir j taškų apskaičiuotas pagal formulę:

$$\rho_{ij} = 6377 \arccos \left(\cos \alpha_i \cos \alpha_j \cos(\beta_i - \beta_j) + \sin \alpha_i \sin \alpha_j \right)$$

čia: α_i – i -ojo taško geografinė platuma; β_i – i -ojo taško geografinė ilguma; $\arccos(\cos \alpha_i \cos \alpha_j \cos(\beta_i - \beta_j) + \sin \alpha_i \sin \alpha_j)$ reikšmė duota radianais; $\rho_{i,j}$ – atstumas tarp i ir j taškų, km.

Tada kiekvienai taškų grupei apskaičiuojama normuotoji autokoreliacinė funkcija taškuose:

$$\mu(\rho_k) = \frac{1}{\mu_0 N_k} \sum_{i,j=1}^{N_k} C'_i C'_j \quad (3)$$

čia: $C'_i = C_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j$, $\mu_0 = \frac{1}{m_k} \sum_{i=0}^{m_k} (C'_i)^2$; N – taškų,

kuriuose atlikti matavimai, skaičius; C_i – lygiavertės dozės galia i – ajame taške; m_k – taškų porų, tarp kurių atstumas priklauso intervalui $[(k-1)\Delta\rho; k\rho]$, skaičius, $\rho_k = (k-0,5)\rho$; $k=1, 2, 3, \dots$ – grupių skaičius; N_k – visų įmanomų sandaugų $C'_i C'_j$ skaičius.

Apskaičiavus $\mu(\rho_k)$ reikšmes taškuose ρ_k , gautos diskretinės autokoreliacinės funkcijos vertės aproksimuotos pagal mažiausių kvadratų metodą, kadangi pagrindinę dalį sudaro autokoreliacinė funkcija (Стыро 1989).

Autokoreliacinės funkcijos sudarytos pagal formulę $\mu(\rho) = e^{-\alpha \cdot \rho}$,

čia: ρ – atstumas tarp lygiavertės dozės galios matavimo vietų, km, $\rho=0,275$ km; α – aproksimavimo parametras.

Nustatyta, kad lygiavertės dozės galios autokoreliacinė funkcija aprašoma formule $\mu(\rho) = e^{-0,2 \cdot \rho}$.

Kita sprendžiamo uždavinio dalis – tiesinių lygčių sistema, kurią išsprendus gaunami nežinomi svoriai:

$$\sum_{j=1}^n \mu_{i,j} P_j^{(\theta)} = \mu_{j,\theta}, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (4)$$

čia: $\mu_{i,j} = \mu(\rho_{i,j})$; $P_j^{(\theta)}$ – nežinomi svoriai; $\rho_{i,\theta}$ – atstumas tarp i – ojo taško ir taško, kuriame atstatoma lygiavertės dozės galios vertė.

Išsprendus lygčių sistemą, gaunamos reikšmės $P_1, P_2, \dots, P_n$, ir apskaičiuojama ieškoma reikšmė $C_{i,\theta}$:

$$C_{i,\theta} = C'_{i,\theta} + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j = \sum_{j=1}^N P_j^{(\theta)} C'_j + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j$$

Autokoreliacinės funkcijos parinkimo tikslumas, atkuriant LDG lauko struktūrą, apibrėžia pagrindinę lygiavertės dozės galios paklaidą duotame lauko taške. Vidutinė kvadratinė E lauko elementų skaičiavimo paklaida nustatoma optimaliai parenkant svorius P_i :

$$E = \left(C'_0 - \sum_{i=1}^n P_i C'_i \right)^2 = \min \quad (6)$$

Tada svoriai P_i randami iš n lygčių sistemos

$$\sum_{i=1}^n \mu_{i,j} P_j = \mu_{0,i}, \quad i=1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

Iš čia optimalios interpoliacijos metodo paklaida:

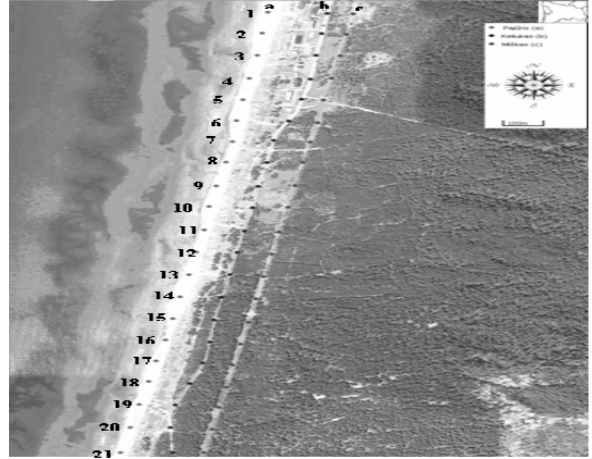
$$\varepsilon = 1 - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} P_i \quad (8)$$

Optimalios interpoliacijos metodu gautos lygiavertės dozės galios lauko elementų vertės išrenkamos tos, kurioms apskaičiuotų lygiavertės dozės verčių dispersija mažesnė ar lygi eksperimentiniu būdu gautų rezultatų dispersijai.

Aprašytame metode teigiama, kad atstatomas lygiavertės dozės galios laukas turi būti stacionarus ir izotropiškas, todėl metodo efektyvumas priklauso nuo šių sąlygų išpildymo (Стыро 1989).

Rezultatai

LDG matavimai buvo atlikti Baltijos jūros priekrantėje (1 pav.), esant įvairiems vėjo greičiams ir kryptims.



1 pav. Lygiavertės dozės galios matavimo vieta (<http://www.maps.lt/lt/zemelapis>)

Radono ir jo skilimo produktų ekshalacija iš dirvožemio priklauso nuo žemės paviršiaus struktūros, o jo struktūra skirtinga – drėgnas smėlis, asfaltas, sausas smėlis. Todėl radono ir jo skilimo produktų patekimas į atmosferą buvo skirtingas. Nevienalytis žemės paviršius sudarė sąlygas susiformuoti skirtingoms LDG laukų struktūroms pažemio oro sluoksnyje. Matavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. LDG matavimo rezultatai (nSv/h) Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės 2008 m. liepos 2 ir 10 d.

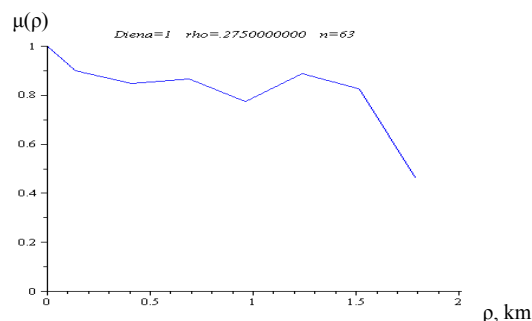
Data Matavimo taško numeris	2008-07-02						2008-07-10					
	LDG pajūryje, nSv/h		LDG take, nSv/h		LDG miške, nSv/h		LDG pajūryje, nSv/h		LDG take, nSv/h		LDG miške, nSv/h	
	Atstumas nuo žemės paviršiaus, m		Atstumas nuo žemės paviršiaus, m		Atstumas nuo žemės paviršiaus, m		Atstumas nuo žemės paviršiaus, m		Atstumas nuo žemės paviršiaus, m		Atstumas nuo žemės paviršiaus, m	
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	70	70	130	100	70	70	80	70	120	110	70	60
2	60	60	120	100	70	70	60	50	100	90	70	70
3	60	60	80	70	70	60	60	50	80	80	70	60
4	60	60	80	80	70	60	50	50	80	70	60	70
5	50	50	70	60	70	60	50	60	80	80	70	60
6	50	50	80	70	70	70	60	40	90	70	80	70
7	50	50	90	70	70	60	60	40	80	70	60	70
8	50	50	70	60	70	60	40	50	90	70	60	60
9	50	50	80	90	70	60	50	50	80	80	70	70
10	50	50	90	80	70	60	60	60	90	80	80	70
11	60	60	90	80	60	60	50	60	80	70	70	70
12	50	50	80	70	70	70	50	50	100	90	70	70
13	50	50	90	90	70	60	60	50	90	80	70	60
14	50	50	80	70	70	60	50	50	80	80	80	70
15	50	50	80	80	60	60	50	50	90	70	60	60
16	50	50	80	80	60	60	50	50	90	80	70	60
17	60	60	90	80	70	60	60	50	90	80	70	60
18	60	50	100	90	70	60	50	50	90	90	70	60
19	50	50	90	80	70	60	50	50	90	80	70	60
20	50	50	110	90	70	60	50	50	100	80	60	60
21	50	50	130	100	70	60	50	50	110	90	70	60
Vidutinė vertė	54	53	84	80	69	62	54	51	90	80	69	64

1 lentelės rezultatai rodo, kad LDG vidutinės vertės keičiasi nuo 51 nSv/h iki 90 nSv/h, o didžiausios vertės stebimos prie žemės paviršiaus. Tai patvirtina, kad natūraliosios kilmės radionuklidų šaltinis yra dirvožemis. Laikui bėgant, radionuklidų koncentracijos keičiasi erdvėje ir laike. Šiuose LDG laukuose ekstremalios vertės buvo 40 nSv/h ir 130 nSv/h. Tai charakterizuoja šių laukų struktūros nevienalytiškumą.

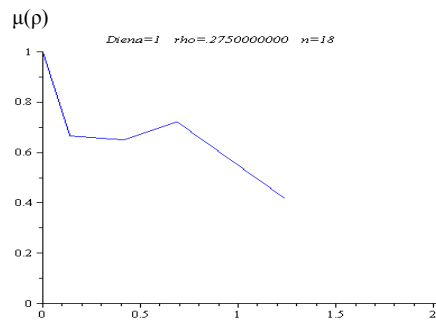
Optimalios interpoliacijos metodas, esant stacionarumo sąlygai, buvo panaudotas LDG laukų struktūrų ir jų pokyčių analizei.

Šis metodas buvo taikomas naudojant visą eksperimentinę informaciją (63 matavimo taškai), o taip pat – tam tikrą jos rezultatų dalį.

LDG laukų struktūros ryšio kokybę nustato autokoreliacinės funkcijos. Jų konkretūs pavyzdžiai iliustruojami 2 ir 3 paveiksluose.



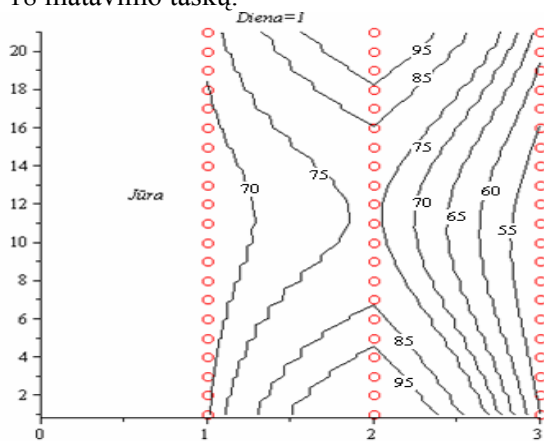
2 pav. Autokoreliacinė funkcija 2008-07-02 situacijai, esant LDG laukui vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudoti 63 eksperimentiniai rezultatai



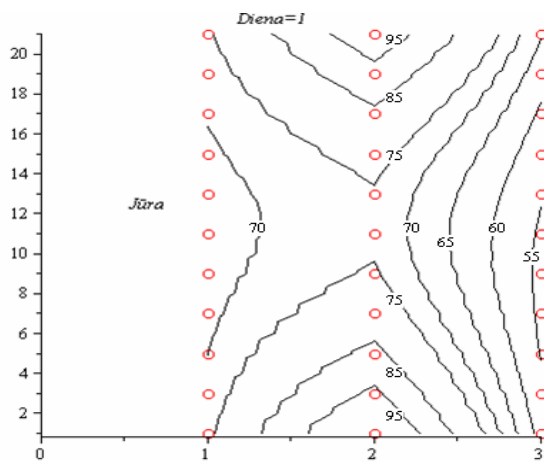
3 pav. Autokoreliacinė funkcija 2008-07-02 situacijai, esant LDG laukui vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus, kai teoriniame modelyje panaudota 18 eksperimentinių rezultatų

2 ir 3 paveiksluose pavaizduotas stiprus koreliacinis ryšys tarp LDG lauko elementų. Natūralu, kad toje pačioje teritorijoje koreliacinis ryšys yra stipresnis tuo atveju, kai daugiau eksperimentinių duomenų.

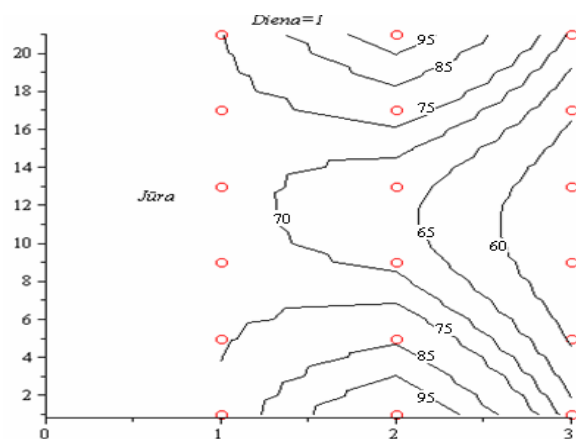
4 pav. pateiktos lygiavertės dozės galios laukų struktūros prie žemės paviršiaus 2008 m. liepos 2 d., gautos optimalios interpoliacijos metodu, naudojant visą eksperimentinę informaciją (63 matavimo taškus), 33 ir 18 matavimo taškų.



a)



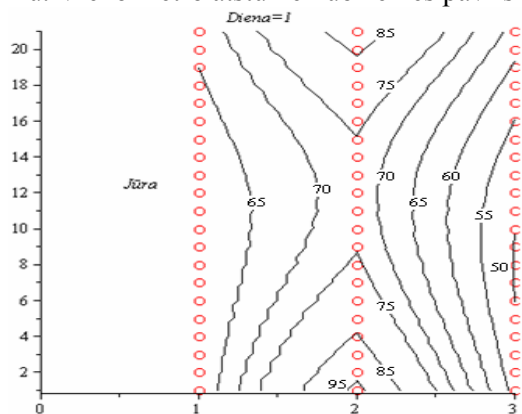
b)



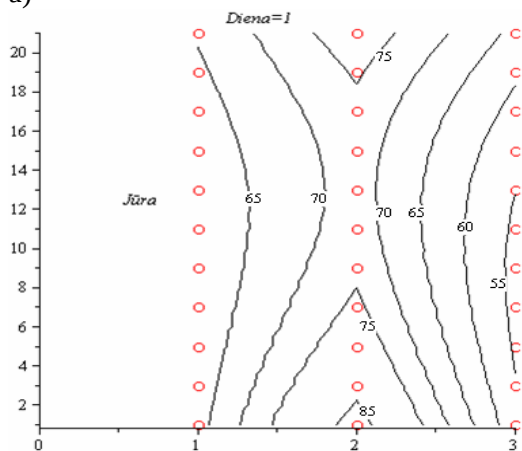
c)

4 pav. Lygiavertės dozės galios lauko struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje eksperimentinių taškų: a) 63; b) 33; c) 18

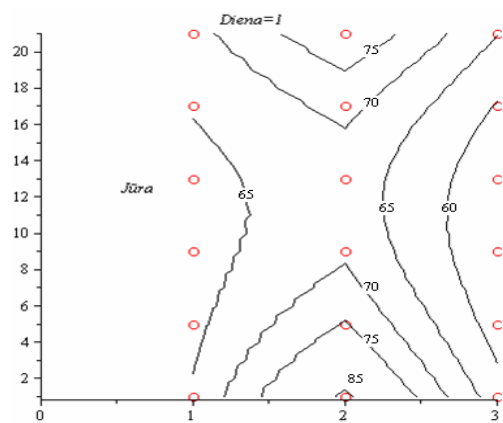
Čia LDG laukų struktūros turi panašias formas, bet stebimas jų susilyginimas, esant mažesniame eksperimentinių rezultatų skaičiui. Be to, čia stebimas LDG verčių padidėjimas teritorijos centro link, t.y., asfalto tako link, kurį šiuo atveju galima laikyti papildomu dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniu. Vieno metro atstume nuo žemės paviršiaus LDG verčių augimas centro link yra mažesnis (5 pav.).



a)



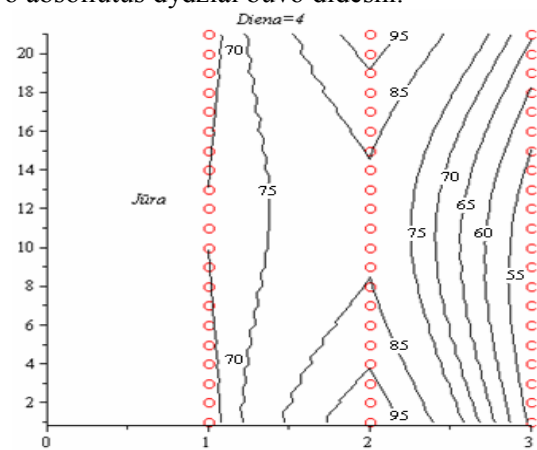
b)



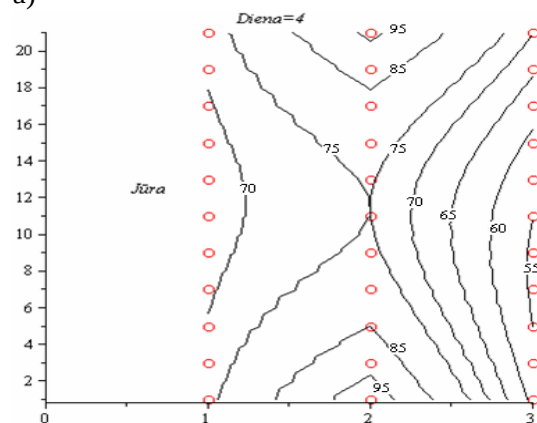
c)

5 pav. Lygiavertės dozės galios lauko struktūra (nSv/h) vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus 2008-07-02, kai teoriniame modelyje eksperimentinių taškų: a) 63; b) 33; c) 18

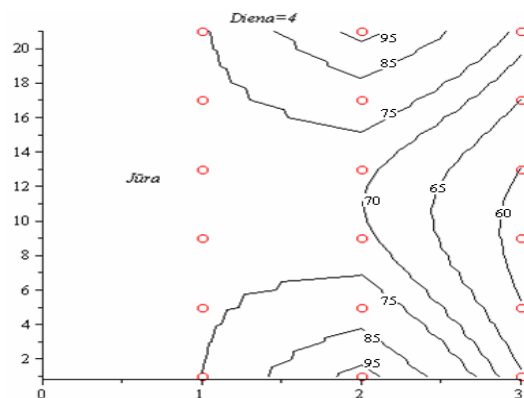
Panašios LDG laukų struktūros gautos 2008-07-10 (6 pav.), kai buvo priešinga vėjo kryptis nei 2008-07-02, o absoliutūs dydžiai buvo didesni.



a)



b)



c)

6 pav. Lygiavertės dozės galios lauko struktūros (nSv/h) prie žemės paviršiaus 2008-07-10, kai teoriniame modelyje eksperimentinių taškų: a) 63; b) 33; c) 18

LDG reikšmių skirtumą liepos 2 ir 10 dienomis galima paaiškinti skirtingu vėjo greičiu. Esant mažam vėjo greičiui, priemaišų pernašos intensyvumas mažėja, o radionuklidų kaupimo greitis didėja prie žemės paviršiaus.

2 lentelėje pateiktas išmatuotų ir apskaičiuotų rezultatų palyginimo pavyzdys, kai teorinis modelis turėjo tik 18 eksperimentinių verčių. Čia 80 % atvejų skirtumas tarp išmatuotų ir paskaičiuotų duomenų neviršijo 15 %.

2 lentelė. Išmatuotų ir paskaičiuotų LDG reikšmių (nSv/h) 2008-07-02 vieno metro aukštyje nuo žemės paviršiaus palyginimas, kai teoriniame modelyje panaudota 18 eksperimentinių rezultatų (E-eksperimentas, T-teorija)

Matavimo taško numeris	LDG pajūryje, nSv/h		LDG take, nSv/h		LDG miške, nSv/h	
	E	T	E	T	E	T
1	70	70	100	100	70	70
2	60	71	100	78	70	73
3	60	64	70	68	60	68
4	60	57	80	62	60	64
5	50	50	60	60	60	60
6	50	53	70	58	70	60
7	50	55	70	61	60	62
8	50	57	60	68	60	64
9	50	50	90	90	60	60
10	50	59	80	71	60	67
11	60	60	80	67	60	67
12	50	59	70	71	70	66
13	50	50	90	90	60	60
14	50	60	70	71	60	66
15	50	61	80	67	60	65
16	50	62	80	69	60	65
17	60	60	80	80	60	60
18	50	63	90	70	60	65
19	50	63	80	69	60	67
20	50	62	90	75	60	68
21	50	50	100	100	60	60
Vidutinė reikšmė	53	59	80	74	62	65

Tokiu būdu, naudojant optimalios interpoliacijos metodą LDG laukų identišškai struktūrai įvertinti, matavimo duomenų skaičių galima kelis kartus sumažinti.

Išvados

1. Atliktas lygiavertės dozės galios (LDG) matavimas Baltijos jūros priekrantėje prie Juodkrantės gyvenvietės 2008 m. liepos 2 ir 10 d.
2. Gauta LDG lauko struktūra iš 63 taškų prie žemės paviršiaus ir 1 m atstumu nuo jo: didesnės absoliučios LDG vertės buvo prie pat žemės paviršiaus. Vidutinės rezultatų ekstremalios vertės buvo 51 nSv/h ir 90 nSv/h, o atskirų matavimų 40 nSv/h ir 130 nSv/h.
3. Pirmą kartą, panaudojant optimalios interpoliacijos metodą, LDG lauko struktūra paskaičiuota virš nehomogeninio paviršiaus mažoje teritorijoje. Nustatytas minimalus matavimų skaičius, kuriam esant, galima atkurti LDG lauko struktūrą.
4. Identiškai LDG lauko struktūrai gauti, naudojant optimalios interpoliacijos metodą, matavimų skaičius buvo sumažintas 3,5 karto, ir teoriniame modelyje palikta 18 matavimo taškų.
5. Sumažinus matavimų skaičių daugiau nei 3,5 karto, atsiranda didelis skirtumas tarp teorinių ir eksperimentinių LDG verčių, ir LDG lauko struktūros atkurti nepavyksta.

Padėkos

Dėkojame VGTU Matematinio modeliavimo katedros prof. dr. Jonui Kleizai už pagalbą rengiant straipsnį, taip pat straipsnio recenzentams prof. habil. dr. Donatui Butkui ir doc. dr. Astai Daunaravičienei.

Literatūra

- Tyrimų vietos žemėlapis [žiūrėta 2008 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.maps.lt/lt/zemelapis>
- Стыро, Б. И. *Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений*. Ленинград, Гидрометеиздат, 1968, 288 с.
- Lebedytė, M.; Butkus, D. Equivalent dose rate in the ground level air caused by the ^{222}Rn progeny gamma radiation. *Environmental engineering*. Vilnius, V.IX, No 3, 2001, p. 153-157.
- Lebedytė, M.; Butkus, D.; Morkūnas, G. Variations of the ambient dose equivalent rate in the ground level air. *Journal of Environmental Radioactivity*, No 64, 2003, p. 45-57.
- Стыро, Д. Б. *Вопросы ядерной гидрофизики*. Ленинград, Гидрометеиздат, 1989, 256 с.

EQUIVALENT DOSE RATE FIELD STRUCTURE CALCULATING BY METHOD OF OPTIMAL INTERPOLLATION IN THE BALTIC SEACOAST

D. Styra, L. J. Gustas, M. Lemežis

Summary

Equivalent dose rate measurements were carried out in the Baltic seacoast near Juodkrantė. Measurements were carried out at the ground surface and 1 meter above it 2008-07-02 during northern and 2008-07-10 during southern wind direction in 63 points at 2,0×0,2 km territory. Extreme rates of equivalent dose rate were 51 and 90 nSv/h. It means that the structure of equivalent dose field is unhomogeneous. The method of optimal interpolation was used to calculate and evaluate the structure of equivalent dose rate field. This method was used in 3 cases, when 63, 33 and 18 numbers of measurement were carried out. Identic structures of equivalent dose field were accepted. Using 18 measurement points coincidence between measured and calculated values of equivalent dose rate was satisfactory. Difference between measured and calculated values does not exceed 15 % in 80 % of measurement points.