

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Jovita DAMAUSKAITĖ

KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS  
TYRIMAS IR TAIKYMAS  
METEOROLOGINIAMS PROCESAMS  
PROGNOZuoti

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
APLINKOS INŽINERIJA IR KRAŠTOTVARKA (04T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2010

Disertacija rengta 2006–2010 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Mokslinis vadovas**

prof. habil. dr. Dmitrijus STYRO (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

### **Konsultantas**

prof. dr. Jonas KLEIZA (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, fiziniai mokslai, matematika – 01P).

*<http://leidykla.vgtu.lt>*

VG TU leidyklos TECHNIKA 1821-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-725-4

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2010

© Jovita Damauskaitė, 2010

*Jovita.Damauskaite@vgtu.lt*

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Jovita DAMAUSKAITĖ

RESEARCH AND APPLICATION  
OF HARD COSMIC RAY FLUX  
FOR FORECASTING  
METEOROLOGICAL CONDITIONS

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2006–2010.

**Scientific Supervisor**

Prof Dr Habil Dmitrijus STYRO (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

**Consultant**

Prof Dr Jonas KLEIZA (Vilnius Gediminas Technical University, Physical Sciences, Mathematics – 01P).

# Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama kosminė spinduliuotė ir jos sklaida atmosferoje bei jos intensyvumo kaita, kurią lemia meteorologinių reiškinių dažnumas. Pagrindinis tyrimo objektas yra kietosios kosminės spinduliuotės įtaka atmosferos slėgio kaitai. Kosminės spinduliuotės duomenų detali analizė ir interpretacija leidžia papildyti meteorologinę informaciją orų prognozei. Pagrindinis disertacijos tikslas – ištirti kietosios kosminės spinduliuotės 1,2–1,6 MeV energijų diapazone ir atmosferos slėgio kaitą ties žemės paviršiumi bei įvertinti meteorologinių reiškinių (ciklonų ir anticiklonų) prognozavimo galimybes pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: kosminės spinduliuotės kaitos ties žemės paviršiumi tyrimas, kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio pokyčių per 2002–2008 metų laikotarpį įvertinimas, pasiūlyti empirinius kosminės spinduliuotės kitimo kriterijus, leisiančius prognozuoti atmosferos slėgio pokyčius.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai bei keturi priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame pateikta kosminės spinduliuotės fizinė prigimtis, jos sklaida atmosferoje, Saulės aktyvumo bei geomagnetinio lauko įtaka kosminės spinduliuotės intensyvumui ties žemės paviršiumi. Antrajame skyriuje pateiktas kietosios kosminės spinduliuotės matavimo metodas bei aprašyta aparatūra, aprašytas atmosferos slėgio matavimo duomenų kaupimas. Pasiūlyta metodika atmosferos slėgio sumažėjimų ir padidėjimų prognozei pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas.

Trečiajame skyriuje aptariami eksperimentinių duomenų, naudojant aprašomosios statistikos, koreliacijos ir regresijos analizes, rezultatai. Ketvirtajame skyriuje aprašytas matematinis modelis, kuris leidžia įvertinti ryšį tarp miuoninės komponentės ir atmosferos slėgio bei temperatūros poveikio.

Disertacijos tema paskelbti 9 straipsniai: 3 – straipsnių rinkiniuose, įtrauktuose į Thomson ISI duomenų bazių sąrašą, 1 – konferencijų medžiagoje, referuotose Thomson ISI duomenų bazėje, 1 – Index Copernicus duomenų bazėje cituojamame žurnale, 4 – recenzuojamose konferencijos medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 9 pranešimai Lietuvos bei kitų šalių konferencijose.

# Abstract

The thesis investigates cosmic rays and their scattering in the atmosphere and the change in their intensity caused by the frequency of meteorological phenomenon. The main objective of the research is hard cosmic rays influence on atmospheric pressure changes. A thorough analysis and interpretation allow to supplement meteorological information for weather forecasts. The primary purpose of this thesis is to investigate the hard cosmic rays in the 1.2–1.6 MeV interval of energies and atmospheric pressure near the earth's surface and to estimate for predicting meteorological phenomena (cyclones and anticyclones) according to the variations of hard cosmic ray flux.

The paper approaches a few major tasks such as the analysis of the change in cosmic rays near the earth's surface, estimation of cosmic ray flux and the variations of atmospheric pressure as well as cosmic ray flux for the time period 2002–2008, suggesting empirical criteria of cosmic ray change which will allow to predict the changes of atmospheric pressure.

The thesis consists of four parts including *introduction*, *4 chapters*, *conclusions*, *references* and *4 annexes*. The introduction discusses the investigated problem, the importance of the thesis and the object of research and describes the purpose and tasks of the paper, research methodology, scientific novelty, the practical significance of the results presented in the paper and thesis statements.

Chapter 1 revises the literature used. It provides the review of the physical nature of cosmic rays and their scattering in the atmosphere, the influence of the solar activity and geomagnetic field on cosmic rays near the surface of the ground. Chapter 2 describes the method and apparatus for measuring the cosmic rays as well as the method of measuring atmospheric pressure. The methodology for prognosis of atmospheric pressure decreases and increases by hard cosmic ray flux is proposed.

Chapters 3 describes the results of the experimental investigation using descriptive statistics, correlation and regression analysis. Chapter presents a detailed discussion of the results obtained by the experimental investigation. Chapter 4 describes the mathematical model that allows to estimate the connection between muon flux and atmospheric pressure and temperature effects.

9 articles focusing on the subject of the discussed thesis have been published: three scientific papers in the Thomson ISI database, one – in conference proceedings referred in Thomson ISI database, one – in Index Copernicus database, four – in material reviewed conferences. 9 presentations on the subject have been given during the conferences at national.

---

# Žymenys

## Simboliai

$A$  – atmosferos aukštis;

$A$  – skirstinio asimetrijos koeficientas;

$a(E)$  – jonizacijos energijos netekimas;

$b(E)E$  – procesų suma: stabdomoji spinduliuotė, tiesioginis elektronų porų susidarymas ir branduolinė sąveika;

$c$  – šviesos greitis;

$d^a/dP^a$  – trupmeninis operatorius;

$E$  – skirstinio ekscesas;

$e^-$  – elektronas;

$e^+$  – pozitronas;

$E_{\mu\min}$  – minimali miuonų energija;

$E_{\pi}$  – pionų energija;

$H$  – atmosferos aukštis;

$h_1$  – atmosferos slėgis pionų susidarymo aukštyje;  
 $h_2$  – atmosferos slėgis miuonų susidarymo aukštyje;  
 $I(x_0, \theta)$  – integralinis miuonų srautas slėgyje  $x_0$ ;  
 $I_0$  – kosminių spindulių intensyvumas;  
 $I_1$  – liūčių srautas atmosferos aukštyje  $A_1$ ;  
 $I_2$  – liūčių srautas aukštyje  $A_2$ ;  
 $L$  – dalelės absorbcijos ilgis;  
 $L$  – pirminės kosminės spinduliuotės pernašos kelias;  
 $m_\mu$  – miuonų rimties masė;  
 $m_\pi$  – pionų rimties masė;  
 $n$  – matavimų skaičius;  
 $N_\mu$  – miuonų srauto intensyvumas;  
 $P$  – atmosferos slėgis;  
 $p$  – patikimumas;  
 $P_0$  – atmosferos slėgis stebėjimo aukštyje;  
 $r$  – Pirsono koreliacijos koeficientas;  
 $R_0$  – universalioji dujų konstanta;  
 $T$  – atmosferos temperatūra;  
 $T(h)$  – vertikalus temperatūros pasiskirstymas;  
 $T_0$  – vidutinė atmosferos temperatūra stebėjimo aukštyje;  
 $t_p$  – standartinio normalinio skirstinio reikšmė;  
 $x_i$  –  $i$ - matavimo reikšmė;  
 $Z$  – zenito kampas;  
 $W_T(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – bendras temperatūrinis koeficientas;  
 $W_T^\mu(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – miuoninės komponentės temperatūrinis koeficientas;  
 $W_T^\pi(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – pioninės komponentės temperatūrinis koeficientas;  
 $\bar{x}$  – matavimų reikšmių vidutinė vertė;  
 $\alpha$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas;  
 $\alpha$  – nelokalumo parametras;  
 $\alpha$  – konstanta;  
 $\alpha(x, \theta, x_0)$  – dalinis temperatūrinis koeficientas;  
 $\alpha(\xi, x_0, x, T)$  – koeficientas, įvertinantis temperatūros įtaką dalelių srautui;  
 $\beta_\alpha$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas;  
 $\beta_P$  – slėgio koeficientas;  
 $\beta_T$  – temperatūrinis koeficientas;

$\beta(\xi, x_0, x, P)$  – koeficientas, įvertinantis atmosferos slėgio įtaką dalelių srautui;

$\Gamma$  – Gama funkcija;

$\gamma$  – gama kvantas;

$\gamma$  – Lorencio faktorius;

$\eta$  – koreliacinio santykio įvertis;

$\eta_{x/y}, \eta_{y/x}$  – koreliacinis santykis;

$\delta^y I(x_0, \theta, P)$  – trupmeninė kosminės spinduliuotės intensyvumo variacija;

$\delta P$  – atmosferos slėgio pokytis;

$\delta T(x)$  – temperatūros pokytis slėgyje  $x_0$ ;

$\Delta H$  – nukrypimas nuo pagrindinio miuonų susidarymo aukščio;

$\Delta I$  – intensyvumo pokytis;

$\Delta p$  – atmosferos slėgio pokytis;

$\phi(x_0, \theta)$  – slėgio koeficientas;

$\mu$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas;

$\mu^-$  – neigiamasis miuonas;

$\mu^+$  – teigiamasis miuonas;

$\pi_0$  – būdingas modelio slėgio matas;

$\pi^-$  – neigiamasis pionas;

$\pi^0$  – neutralusis pionas;

$\pi^+$  – teigiamasis pionas;

$\nu_e$  – elektroninis neutrinas;

$\tilde{\nu}_e$  – elektroninis antineutrinas;

$\nu_\mu$  – miuoninis neutrinas.

$\tilde{\nu}_\mu$  – miuoninis antineutrinas;

$\sigma_x$  ir  $\sigma_y$  – matavimo reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis;

$\rho$  – oro tankis;

$\tau_\mu$  – miuonų gyvavimo trukmė;

$\tau_\pi$  – pionų gyvavimo trukmė.

## **Santrumpos**

AVC – atmosferos veiklumo centai;

BAC – bendroji atmosferos cirkuliacija;

KKSS – kietosios kosminės spinduliuotės srautas;

KS – kosminė spinduliuotė;

KSS – kosminės spinduliuotės srautas;

VGL – vidutinis Grinvičo laikas.

---

# Turinys

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>IVADAS</b> .....                                                                                         | 1  |
| Problemos formulavimas .....                                                                                | 1  |
| Darbo aktualumas .....                                                                                      | 2  |
| Tyrimų objektas .....                                                                                       | 3  |
| Darbo tikslas .....                                                                                         | 3  |
| Darbo uždaviniai.....                                                                                       | 3  |
| Tyrimų metodika .....                                                                                       | 4  |
| Darbo mokslinis naujumas .....                                                                              | 4  |
| Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....                                                                       | 4  |
| Ginamieji teiginiai .....                                                                                   | 4  |
| Darbo rezultatų aprobavimas .....                                                                           | 5  |
| Disertacijos struktūra .....                                                                                | 5  |
| <b>1. KOSMINĖ SPINDULIUOTĖ IR JOS SKLAIDA ATMOSFEROJE</b> .....                                             | 7  |
| 1.1. Kosminės spinduliuotės fizinė prigimtis.....                                                           | 7  |
| 1.2. Kosminės spinduliuotės intensyvumo vertikalus pasiskirstymas atmosferoje...                            | 13 |
| 1.3. Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko pokyčiai ir jų įtaka kosminės<br>spinduliuotės intensyvumui ..... | 15 |
| 1.4. Meteorologinių sąlygų susidarymas ir kaita .....                                                       | 19 |
| 1.5. Atmosferos slėgis ir oro masių pernaša Lietuvoje .....                                                 | 24 |
| 1.6. Atmosferos cirkuliacijos centrai .....                                                                 | 25 |

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.7. Meteorologinių elementų sąryšis su kosminės spinduliuotės srauto variacijomis .....                         | 29         |
| 1.8. Kosminės spinduliuotės matavimo prietaisų apžvalga .....                                                    | 32         |
| 1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....                                        | 37         |
| <b>2. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS IR ATMOSFEROS SLĖGIO TYRIMŲ METODIKA.....</b>                             | <b>39</b>  |
| 2.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo metodas .....                                              | 39         |
| 2.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo aparatūra.....                                             | 40         |
| 2.3. Atmosferos slėgio matavimas ir duomenų kaupimas.....                                                        | 42         |
| 2.4. Orų prognozei naudojami metodai.....                                                                        | 44         |
| 2.5. Kietosios kosminės spinduliuotės variacijų atmosferos slėgio pokyčiams prognozuoti metodika .....           | 45         |
| 2.6. Antrojo skyriaus išvados.....                                                                               | 48         |
| <b>3. KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS SRAUTO BEI ATMOSFEROS SLĖGIO TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ .....</b>       | <b>49</b>  |
| 3.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio duomenų aprašomosios statistikos analizė ..... | 50         |
| 3.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių koreliacinė analizė .....             | 58         |
| 3.3. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių regresinė analizė.....                | 63         |
| 3.4. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ties žemės paviršiumi dėsniumai...                                  | 66         |
| 3.5. Atmosferos slėgio sumažėjimo prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas .....        | 69         |
| 3.6. Atmosferos slėgio padidėjimo prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas .....        | 77         |
| 3.7. Trečiojo skyriaus išvados .....                                                                             | 84         |
| <b>4. ATMOSFERINIO POVEIKIO MIUNŲ SKLAIDAI MATEMATINIS MODELIAVIMAS .....</b>                                    | <b>87</b>  |
| Ketvirtojo skyriaus išvados.....                                                                                 | 99         |
| <b>BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS .....</b>                                                                | <b>101</b> |
| <b>LITERATŪROS SĄRAŠAS .....</b>                                                                                 | <b>103</b> |
| <b>AUTORIAUS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA .....</b>                                                            | <b>113</b> |
| <b>PRIEDAI .....</b>                                                                                             | <b>115</b> |

---

# Contents

|                                                                                                                        |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>                                                                                              | <b>1</b>     |
| Formulation of the problem .....                                                                                       | 1            |
| The topicality of the phesis .....                                                                                     | 2            |
| The object of research.....                                                                                            | 3            |
| The aim of the thesis.....                                                                                             | 3            |
| The objectives of the thesis.....                                                                                      | 3            |
| Research methodology.....                                                                                              | 4            |
| Scientific novelty of the thesis.....                                                                                  | 4            |
| The practical significance of the research results .....                                                               | 4            |
| Thesis statements .....                                                                                                | 4            |
| Approbation of results .....                                                                                           | 4            |
| The structure of the thesis.....                                                                                       | 5            |
| <br><b>1. COSMIC RAYS AND THEIR SCATTERING IN THE ATMOSPHERE .....</b>                                                 | <br><b>7</b> |
| 1.1. The physical nature of cosmic rays.....                                                                           | 7            |
| 1.2. Vertical distribution of cosmic ray intensity in the atmosphere.....                                              | 13           |
| 1.3. Solar activity, the changes in the geomagnetic field and their influence on the<br>intensity of cosmic rays ..... | 15           |
| 1.4. The formaion of meteorological conditions and their changes.....                                                  | 19           |
| 1.5. Atmospheric pressure and transfer of air masses in Lithuania.....                                                 | 24           |
| 1.6. Centers of atmospheric circulation .....                                                                          | 25           |

|                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.7. The correlation between hard cosmic ray flux variations and atmospheric pressure.....               | 29         |
| 1.8. The review of devices for measuring cosmic ray .....                                                | 32         |
| 1.9. Conclusions of the first chapter and formulation of the thesis tasks.....                           | 37         |
| <b>2. METHODOLOGY OF THE HARD COSMIC RAY AND ATMOSPHERE PRESSURE RESEARCH .....</b>                      | <b>39</b>  |
| 2.1. The method of measuring hard cosmic ray flux .....                                                  | 39         |
| 2.2. A device for measuring hard cosmic ray flux .....                                                   | 41         |
| 2.3. Devices for measuring atmospheric pressure and collection of data .....                             | 42         |
| 2.4. The methods used for weather forecasting .....                                                      | 44         |
| 2.5. The methodology for forecasting atmospheric pressure by hard cosmic ray flux variations .....       | 45         |
| 2.6. Conclusions of the second chapter.....                                                              | 48         |
| <b>3. THE RESULTS AND THEIR ANALYSIS OF HARD COSMIC RAY FLUX AND ATMOSPHERIC PRESSURE RESEARCH .....</b> | <b>49</b>  |
| 3.1. Descriptive statistical data analysis of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure values.....  | 50         |
| 3.2. Correlation analysis of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure values.                       | 58         |
| 3.3. Regression analysis of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure values .                       | 63         |
| 3.4. The regularities of hard cosmic ray flux near the surface of the ground.....                        | 66         |
| 3.5. The forecast of decrease in atmospheric pressure by hard cosmic ray flux variations .....           | 69         |
| 3.6. The forecast of increase in atmospheric pressure by hard cosmic ray flux variations .....           | 77         |
| 3.7. Conclusions of the third chapter .....                                                              | 84         |
| <b>4. MATHEMATICAL MODELING OF ATMOSPHERIC EFFECT OF MUON SCATTERING .....</b>                           | <b>87</b>  |
| Conclusions of the fourth chapter.....                                                                   | 99         |
| <b>GENERAL CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS .....</b>                                                     | <b>101</b> |
| <b>REFERENCES .....</b>                                                                                  | <b>103</b> |
| <b>LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE THESIS .....</b>                     | <b>113</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>                                                                                     | <b>115</b> |

---

# Ivadas

## Problemos formulavimas

Dabartiniu metu vis dažniau kalbama apie ryšius tarp Saulėje vykstančių procesų ir Žemės reakciją į juos. Vienas iš faktorių, veikiančių Žemės aplinką, yra kosminė spinduliuotė. Kosminė spinduliuotė į Žemę patenka iš Galaktikos, o mažesnė jos dalis – iš Saulės.

Pirminės kosminės spinduliuotės pagrindinę dalį sudaro protonai ir alfa dalelės, kurių srautas pakinta kirtus geomagnetinį lauką. Pirminė kosminė spinduliuotė sąveikaudama su Žemės atmosferos atomų branduoliais, praranda savo energiją įvairių branduolinių reakcijų metu, todėl žemės paviršių pasiekia tik antrinė kosminė spinduliuotė, kurios pagrindinę dalį sudaro miuonai.

Intensyvūs Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko pokyčiai neigiamai veikia ne tik technologines, bet ir ekologines bei biologines sistemas, apimdami žmogaus visas veikas. Šie pasikeitimai veikia Žemės aplinką: sukelia geomagnetines audras, jonosferos perturbacijas, ilgalaikius Žemės klimato pokyčius.

Kadangi Žemės atmosfera sugeria didelę kosminės spinduliuotės dalį, jos intensyvumas jūros lygyje yra daug kartų mažesnis už jos intensyvumą viršutiniuose atmosferos sluoksniuose. Kosminės spinduliuotės intensyvumas ties žemės paviršiumi priklauso ir nuo geomagnetinio lauko bei meteorologinių procesų kitimų.

Kadangi klimato pokyčiai Žemėje kelia didelį susirūpinimą, būtina ištirti ar ilgalaikiai Saulės aktyvumo pokyčiai lemia meteorologinių parametrų kitimą. Be to, svarbu išsiaiškinti meteorologinių reiškinių poveikį kosminės spinduliuotės intensyvumui ties žemės paviršiumi. Žinant šių reiškinių poveikį kosminei spinduliuotei, būtų galima naudoti ją kaip indikatorius atmosferos slėgio pokyčiams prognozuoti. Vadinasi, kosminės spinduliuotės tyrimai gali papildyti meteorologinę informaciją skirtą atmosferos slėgio pokyčių prognozei.

## Darbo aktualumas

Kosminės spinduliuotės tyrimai yra aktuali pastarojo šimtmečio problema. Pirmia, kosminė spinduliuotė susideda iš atomų branduolių, turinčių milžinišką energiją. Antra, aukštos energijos kosminė spinduliuotė, sklindanti iš Galaktikos, yra pagrindinis pirminių kosminių dalelių šaltinis.

Kosminės spinduliuotės variacijų viršutiniuose atmosferos sluoksniuose ir ties žemės paviršiumi analizės duomenis galima naudoti tiriant įvairius šiuolaikiniam mokslui aktualius klausimus. Vienais atvejais nagrinėjamas tiesioginis kosminių dalelių poveikis kai kuriems reiškiniams, pvz., navigacijai ir radiokomunikacijai, spinduliuotės žalai žmogui atviroje kosminėje erdvėje, atmosferos ozono nutekėjimui ir t. t. Kitais atvejais, tiriamas netiesioginis kosminės spinduliuotės srauto poveikis, pvz., orai ir klimatologija, klinikinės patologijos ir biosfera, geomagnetinio aktyvumo lygis, pašvaistės.

Pastaraisiais dešimtmečiais visame pasaulyje plačiai atliekami Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko įtakos žmogaus organizmui bei meteorologiniams procesams tyrimai. Geomagnetinio lauko įtaka žmogaus organizmui domimasi Europoje (Ormeny, Nemeth 1990; Stoupel *et al.* 2006; Papailiou *et al.* 2009), Japonijoje (Misumi 1986), JAV (Shea, Smart 2000; Palmer *et al.* 2006), Rusijoje (Dmitrieva *et al.* 2000) ir kt.

Žemės magnetinio lauko perturbacijų ir apatinėje atmosferoje vykstančių reiškinių sąryšis nagrinėjamas Italijoje (Famoso *et al.* 2004), Rusijoje (Bogdanov *et al.* 2003; Pudovkin *et al.* 1997; Stozhkov *et al.* 2001; Berkova *et al.* 2008; Alexeenko *et al.* 2001; 2002; Khaerdinov *et al.* 2003a; 2003b; Zatsepin, Roganova 2009), JAV (Kessler 2002; Kavlov 2006), Bulgarijoje (Elsner *et al.* 2001; Mishev 2006), Suomijoje (Usoskin 2003; Veretenenko *et al.* 2004; 2006a; 2006b; 2007), Danijoje (Svensmark 1998).

Ties žemės paviršiumi kosminės spinduliuotės srauto kitimai registruojami nuolat. Šių kitimų priežastis yra Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko pokyčiai bei meteorologinių procesų kaita ir t. t. Pagrindinė kosminės spinduliuotės kaitos priežastis yra geomagnetinio lauko pokyčiai. Geomagnetinio lauko nestat-

bilumas sukelia miuonų srautų variacijas, kurios gali būti atmosferos slėgio pokyčių netiesioginiu prognostiniu indikatoriumi.

Minėtai prognozei atlikti imama antrinės kosminės spinduliuotės kietoji komponentė, nes tada didelių energijų miuonams registruoti netrukdo natūralios kilmės veiksniai. Todėl būtina stebėti ir vertinti kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas, prognozuojant atmosferos slėgio pokyčius.

## Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – kietosios kosminės spinduliuotės įtaka atmosferos slėgio kaitai.

## Darbo tikslas

Šio darbo pagrindinis tikslas – ištirti kietosios kosminės spinduliuotės 1,2–1,6 MeV energijų diapazone ir atmosferos slėgio kaitą ties žemės paviršiumi bei įvertinti meteorologinių reiškinių (ciklonų ir anticiklonų) prognozavimo galimybes pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas.

## Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti kietosios kosminės spinduliuotės srauto monitoringą.
2. Išanalizuoti kietosios kosminės spinduliuotės srautą 1,2–1,6 MeV energijų diapazone ir jo pokyčius įvairiais metų sezonais.
3. Išnagrinėti atmosferos slėgio sumažėjimo ir padidėjimo pokyčių tendencijas.
4. Pasiūlyti empirinius kietosios kosminės spinduliuotės srauto kitimo kriterijus, leidžiančius prognozuoti trumpalaikius atmosferos slėgio sumažėjimus ir padidėjimus.
5. Sudaryti skaitinį algoritmą miuonų sklaidos atmosferoje modeliavimui.

## Tyrimų metodika

Darbe naudojamas gama scintiliacinis metodas, kurį taikant registruojamas gama kvantų bei miuonų po Komptono sklaidos švino sluoksniuose ir jutiklyje energijų spektras. Atmosferos slėgio pokyčiams prognozuoti pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas taikomi empiriniai kriterijai. Sudarytu skaitiniu algoritmu įvertintas atmosferinis poveikis miuonų sklaidai atmosferoje.

## Darbo mokslinis naujumas

Kietosios kosminės spinduliuotės kaitos ties žemės paviršiumi kompleksiniai eksperimentiniai bei teoriniai tyrimai. Sąryšio tarp antrinės kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio padidėjimų įvertinimas bei prognozė. Skaitinis atmosferinio poveikio miuonų sklaidai modeliavimas.

## Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Gauti tyrimų rezultatai leidžia numatyti atmosferos procesų kaitą. Tyrimų rezultatai padės vertinti ir prognozuoti atmosferos slėgio pokyčius, o pritaikytas metodas papildys sinoptinį metodą papildoma informacija, prognozuojant atmosferos slėgio pokyčius.

## Ginamieji teiginiai

1. 1,2–1,6 MeV energijų diapazono kosminės spinduliuotės intensyvumas ties žemės paviršiumi kinta dėl išorinių geofizinių procesų kaitos poveikio.
2. Tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių yra statistiškai tamprus ryšys – koreliacinė priklausomybė.
3. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijos leidžia prognozuoti trumpalaikį (iki šešių parų) atmosferos slėgio kitimą.
4. Matematiškai aprašomas ryšys tarp atmosferinio poveikio ir miuonų sklaidos.

## Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 9 moksliniai straipsniai: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson ISI sąrašą (Styra *et al.* 2010; Styra *et al.* 2009; Styra *et al.* 2008); vienas – recenzuojamoje tarptautinės konferencijos medžiagoje (Styra *et al.* 2008), vienas – mokslo žurnale, įtrauktame į Index Copernicus duomenų bazę (Styra *et al.* 2007). Keturi – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagoje (Styra *ir kt.* 2008a; Damauskaitė *ir kt.* 2008b; Styro *et al.* 2007a; Damauskaitė 2007b).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti devyniose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje “Mokslas – Lietuvos ateitis” Aplinkos apsauga 2007–2009 m. Vilniuje;
- Jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“ Fizika ir fizinė kompiuterija 2007–2010 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje “Environmental Engineering” 2008 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje “Atmospheric physics: science and education” 2007 m. Sant Peterburge, Rusija.

## Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas ir keturi priedai.

Darbo apimtis yra 115 puslapių, be priedų, tekste panaudotos 54 numeruotos formulės, 50 paveikslų ir 18 lentelių. Rašant disertaciją buvo panaudoti 146 literatūros šaltiniai.



---

## Kosminė spinduliuotė ir jos sklaida atmosferoje

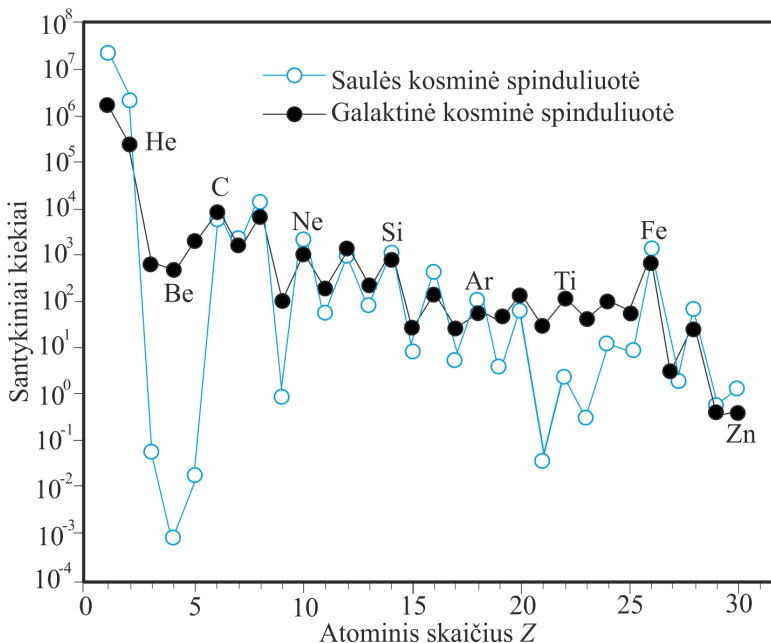
Skyriuje atlikta mokslinės literatūros apie kosminės spinduliuotės fizinę prigimtį, jos sklaidą atmosferoje apžvalga ir analizė. Pastebėta, kad kosminės spinduliuotės prigimtis yra skirtinga. Svarbiausias veiksnys, lemiantis kosminės spinduliuotės intensyvumą ties žemės paviršiumi, yra Saulės aktyvumas bei geomagnetinio lauko pokyčiai. Žemės magnetinis laukas ir atmosfera sudaro du apsauginius sluoksnius, skirtus kosminių spindulių sklaidai ties žemės paviršiumi sumažinti. Skyriuje atlikta mokslinių Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko įtakos žmogaus organizmui bei meteorologiniams procesams tyrimų apžvalga.

Šiame skyriuje pateikta meteorologinių sąlygų kaitos, kosminius spindulius matuojančių bei meteorologiniams elementams stebėti skirtų prietaisų apžvalga ir trumpa analizė.

### 1.1. Kosminės spinduliuotės fizinė prigimtis

1912 m. kosminę spinduliuotę atrado austrų mokslininkas V. Hess, pakilęs oro balionu į 5 km aukštį ir stebėdamas oro molekulių jonizaciją. 1937 m. S. Ne-

ddermeyer ir C. Anderson atrado miuonus, kaip kosminės spinduliuotės sudėtinę dalį. 1925 m. R. Milikan (JAV) panaudojo terminą „kosminė spinduliuotė“. Kosminė spinduliuotė – tai didelės energijos elementariosios dalelės ir atomų branduoliai, Visatos erdvėje skriejantys šviesos greičiui artimais greičiais. Tai pirminė kosminė spinduliuotė, Visatos erdvėje pasiskirsčiusi izotropiškai. Jos energija gali siekti net  $10^{20}$  eV. Daugiau nei 90 % pirminių kosminių dalelių sudaro protonai ir apie 9 % – helio branduoliai (1.1 pav.). Kosminės spinduliuotės sudėtyje dažniausiai aptinkami sunkesnieji elementai (B, C, N, Li, Fe ir kiti), kurių Visatoje yra mažiau nei 1 % (Simpson 1983; Gaisser 1990; Williams *et al.* 1998; Wolfendale 1999; Usoskin 2003a; Dorman 2004).

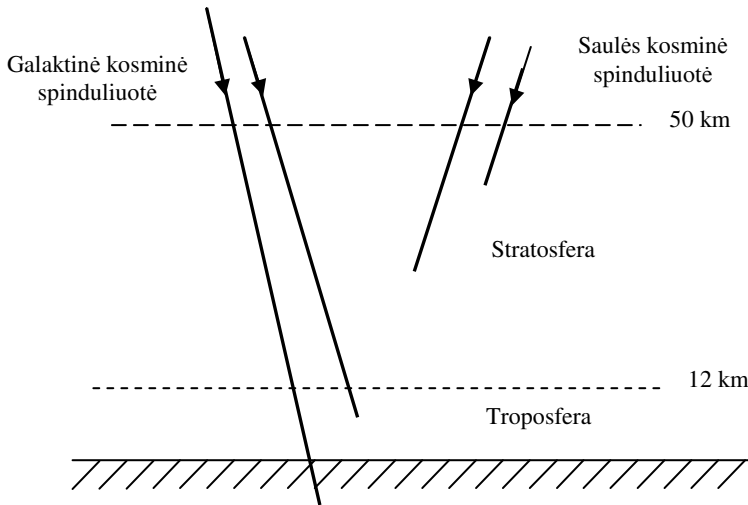


**1.1 pav.** Kosminės spinduliuotės cheminė sudėtis (Simpson 1983)

**Fig. 1.1.** Chemical composition of cosmic ray (Simpson 1983)

Kosminė spinduliuotė, susidariusi už Saulės sistemos ribų, vadinama galaktine kosmine spinduliuote (Wdowczyk, Wolfendale 1989). Visos galaktinės kosminės spinduliuotės dalelės yra pilnai jonizuotos, t. y. sudarytos tik iš branduolių. Galaktinės kosminės spinduliuotės energijos spektras kinta nuo  $\leq 10^9$  iki  $\geq 10^{21}$  eV. Galaktinės kosminės spinduliuotės srautą moduliuoja Saulės aktyvumas: padidėjęs Saulės aktyvumas Žemę apsaugo nuo šių dalelių. Galaktinės kosminės spinduliuotės srautas yra labai didelis ir siekia apie  $10^5 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Zieg-

ler 1998). Saulės kosminė spinduliuotė arba kitaip vadinamos Saulės aktyviosios dalelės susidaro vykstant Saulės žybsniams (Schlickeiser 2002), Saulės vainiko masės išmetimams ir smūgiams tarpplanetinėje erdvėje (Usoskin 2003a). Žemės paviršių pasiekia tik aukštos energijos galaktinė kosminė spinduliuotė (1.2 pav.). Saulės kosminė spinduliuotė dėl savo nepakankamos energijos, kuri kinta nuo 10 iki 100 MeV, negali pasiekti žemės paviršiaus (Usoskin 2003a; Mishev 2006).



**1.2 pav.** Kosminės spinduliuotės sklaida atmosferoje (Wolfendale 1999)

**Fig. 1.2.** Cosmic ray scattering in the atmosphere (Wolfendale 1999)

Saulės dėmių skaičius lemia pirminės kosminės spinduliuotės kiekį ties žemės paviršiumi. Esant ramiam Saulės periodui, išspinduliuojamas mažesnis dalelių, pasiekiančių jūros lygį, kiekis. Tačiau esant aktyviai Saulei, Saulės aktyvių dalelių, pasiekiančių išorinę atmosferą, skaičius padidėja milijoną kartų (Ziegler 1998).

Viršutiniuose Žemės atmosferos sluoksniuose pirminės kosminės dalelės savo energiją išsekvoja netampriems smūgiams su oro molekulių branduoliais. Įvykus branduolinėms reakcijoms atsiranda antrinė kosminė spinduliuotė, galinti pasiekti žemės paviršių (Rossi, Greisen 1941; Ziegler 1998; Grieder 2001; Dorman 2004; Gaisser *et al.* 2006; Beatty, Westerhoff 2009).

Kiekviena pirminė aukštos energijos dalelė greitai generuoja antrinių dalelių srautą, kol pasiekia žemės paviršių. Vietoje vienos pirminės kosminės dalelės atsiranda daug antrinių dalelių. Jos skirstomos į hadroninę, miuoninę ir elektroninę–fotoninę dedamąsias. Tokia pakopa vadinama atmosferine liūtimi. Ji padengia nuo kelių iki kelių šimtų kvadratinų metrų plotą. Joje dalelių tankis didė-

ja iki pat jūros lygio (Bernlöhr 1999; Engel *et al.* 2002; Nagamine 2003; Dorman 2004; Pierog *et al.* 2006; Sokolsky 2006). Antrinių dalelių, galinčių pasiekti žemės paviršių, pagrindinės charakteristikos pateiktos 1.1 lentelėje (Feinberg, Lederman 1963).

Vadinamoji hadroninė komponentė, kurioje susidaro daug hadronų (pionai, miuonai, neutronai, protonai), auga lėtai (Kalmykov *et al.* 1975). Pasiekusi didžiausią reikšmę 15 km aukštyje pradeda mažėti. Branduolinės reakcijos vyksta pakopose, dalyvaujant dalelėms, kurių energija yra aukštesnė nei 0,1 GeV.

### 1.1 lentelė. Antrinių dalelių fizinės charakteristikos (Ziegler 1998)

**Table 1.1.** Physical characteristics of secondary particles (Ziegler 1998)

| Dalelės    | Sąveikos tipas   |        |        | Energija, MeV | Gyvavimo trukmė |
|------------|------------------|--------|--------|---------------|-----------------|
|            | Elektromagnetinė | Stipri | Silpna |               |                 |
| Pionai     | x                | x      |        | ~ 134         | ~ 26 ns         |
| Miuonai    | x                |        | x      | ~ 106         | ~ 2 μs          |
| Neutronai  |                  | x      |        | 940           | 12 min.         |
| Protonai   | x                | x      |        | 938           | Stabilus        |
| Elektronai | x                |        |        | 0,5           | Stabilus        |

Per vieną sąveikos aktą protonas gali prarasti pusę savo energijos ir sudaryti naujas daleles – pionus. Susidarę pionai sąveikauja su atmosferos dujų branduoliais arba skildami formuoja miuoninę ir elektroninę–fotoninę komponentes (Adams 1952; Sigl 2001; Nagamine 2003; Werner *et al.* 2005; Engel 2006b; Barbashina *et al.* 2007):

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \text{ (98,8 \%)}, \quad (1.1)$$

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu(\tilde{\nu}) \text{ (100 \%)}, \quad (1.2)$$

$$K^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu(\tilde{\nu}) \text{ (63 \%)}. \quad (1.3)$$

čia  $\pi^0$  – neutralusis pionas;  $\pi^+$  – teigiamasis pionas;  $\pi^-$  – neigiamasis pionas;  $\gamma$  – gama kvantas;  $\mu^+$  – teigiamasis miuonas;  $\mu^-$  – neigiamasis miuonas;  $K^\pm$  – kaonas.

Miuoninė komponentė yra labai jautri hadroninės sąveikos charakteristikoms. Kai hadroninės liūtys dalelės pasiekia energiją, reikalingą pionams ir kaonams skilti, susidaro miuonai, atskirti nuo hadroninės liūtys srauto

(Adams 1952; Stanev *et al.* 1999; Bugaev *et al.* 2000; Nagamine 2003; Meurer *et al.* 2005; Engel 2006a).

Miuonai su medžiaga sąveikauja silpna ir elektromagnetine sąveikomis. Jie keliauja palyginti ilgai, kol netenka savo kinetinės energijos ir silpnos sąveikos metu skyla į tris daleles: elektroną, neutrino ir antineutrino (Rossi, Greisen 1941; Coan *et al.* 2004; Theodórsson 1996; Nagamine 2003).

Miuonai skyla taip:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e, \quad (1.4)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e, \quad (1.5)$$

čia  $e^-$  – elektronas;  $e^+$  – pozitronas;  $\nu_e$  – elektroninis neutrino;  $\nu_\mu$  – miuoninis neutrino;  $\bar{\nu}_\mu$  – miuoninis antineutrino;  $\bar{\nu}_e$  – elektroninis antineutrino.

Elektronai, pozitronai, teigiamieji ir neigiamieji miuonai jonizuodami atmosferą išspinduliuoja į aplinką gama kvantus. Žemės paviršių pasiekia tik miuonai. Miuonų, lyginant su kitų dalelių kiekiais, daugiausiai yra aukštųjų ir vidutinių energijų spektro srityse. Miuonų yra keliomis eilėmis daugiau nei kitų aukštųjų energijų dalelių.

Miuonų energijos netekimą galima aprašyti tokia lygtimi (Gruppen *et al.* 2005):

$$-\left. \frac{dE}{dx} \right|_{\text{miuonai}} = a(E) + b(E)E, \quad (1.6)$$

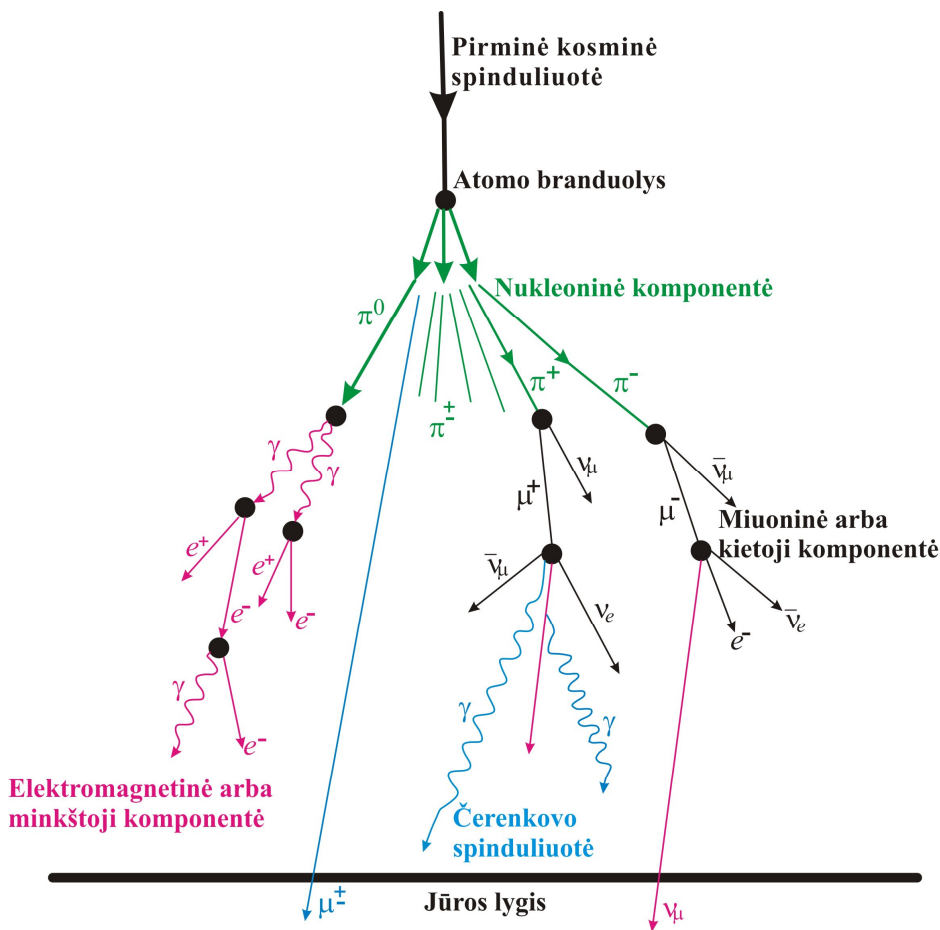
čia  $a(E)$  – jonizacijos energijos netekimas,  $b(E)E$  – procesų suma: stabdomoji spinduliuotė, tiesioginis elektronų porų susidarymas ir branduolinė sąveika. Miuonų energijos netekimas yra tiesiškas ir priklauso nuo miuonų energijos (Gruppen *et al.* 2005). Kuo didesnė dalelės energija, tuo daugiau energijos ji praranda sąveikaudama su medžiaga.

Didelė miuonų skvarba susijusi su tuo, kad jų stabdymas medžiagoje vyksta tik dėl elektromagnetinės sąveikos su elektronais ir atomų branduoliais. Kadangi miuonų masė didelė, tai jų skvarba daug didesnė, lyginant su elektronais, hadronais ir gama kvantais (Raymond 1952; Greisen 1960; Wdowczyk, Wolfendale 1989; Gruppen *et al.* 2005; Ladron de Guevara 2005; Zatsepin, Roganova 2009).

Kelios galimų kosminių spindulių pakopų šakos parodytos 1.3 paveiksle. Kairėje pusėje pavaizduotas antrinių  $\pi^+$  dalelių skilimas per  $10^{-9}$  s į elektromagnetines arba kitas branduolinėse sąveikose nedalyvaujančias (nehadronines) daleles. Dešinėje pusėje parodyta  $\pi^-$  dalelių sąveika su atmosferos atomų branduo-

liais, kurios metu sukuriama nukleoninė pakopa. Juose antriniai neutronai toliau sąveikauja su hadronais.

Absoliutūs liūčių plotai priklauso nuo atskriejančių dalelių energijos: kuo didesnė yra energija, tuo platesnė yra pakopa. Žemesnių energijų dalelės sugėrimos artimiausiuose susidūrimuose (Knapp *et al.* 2003; Zatsepin, Roganova 2009).



1.3 pav. Atmosferinių liūčių schema (Sokolsky 2006)

Fig. 1.3. Schematic diagram of a cosmic ray shower (Sokolsky 2006)

Elektromagnetinės liūtės sudėtis priklauso nuo pirminių dalelių tipo ir dalelių srauto intensyvumo (Meurer *et al.* 2005). Kiekvienas gama kvantas inicijuoja elektromagnetinę pakopą. Elektromagnetinėje pakopoje fotonai sąveikauja per:

1. Komptono efektą su atomų elektronais esant nedidelei energijai.
2. Fotoefektą: atomas absorbuoja fotoną, jo nedidelė energija panaudojama elektronui išlaisvinti.
3. Porų susidaryme: fotonai sąveikauja su branduolio Kulono lauku, kad susidarytų elektrono-pozitrono pora. Čia reikalinga didelė energija. Elektronai sąveikauja per:
  1. Jonizacijos energijos netekimą.

2. Stabdomąją spinduliuotę: elektronai sąveikauja su branduolio Kulono lauku, kad susidarytų sustabdytas elektronas ir išspinduliuotasis fotonas.

Tarp pirminių kosminių dalelių ir atmosferos medžiagų atomų stiprioji sąveika vyksta  $1,2 \cdot 10^{-13}$  cm spindulio plotelyje. Vienos paprastos pakopos modelį galima pavaizduoti kaip „koncentruotą branduolinį skystį“. Branduolinės jėgos yra itin stiprios. Jei hadronas (bet kokia jautri branduolinėms jėgoms dalelė) šiuo atstumu priartėja prie branduolio, reakcijos tikimybė tampa labai didelė, ir senoji dalelė skyla. Jos vietoje atsiranda viena ar daugiau skirtingų tipų dalelių. Laikoma, kad atmosferoje galimi penki „kondensuoto branduolio skysčio“ sluoksniai. Tai reiškia, kad vidutiniškai kiekviena dalelė generuoja penkias liūtis. Hadronų kiekis auga ne taip sparčiai. Pakopoje daugumą dalelių sudaro elektromagnetinės ir silpnos sąveikos dalelės (Ziegler 1998; Grieder 2001).

## 1.2. Kosminės spinduliuotės intensyvumo vertikalus pasiskirstymas atmosferoje

Dėl sugerties atmosferoje, ties žemės paviršiumi antrinių dalelių kiekis laipsniškai nustoja didėti. Dauguma dalelių skyla spontaniškai (pionų gyvavimo laikas yra nanosekundės eilės, o miuonų – keletas mikrosekundžių) arba praranda savo energiją dar nepasiekusios žemės paviršiaus, t. y. išnyksta pakopoje. Didžiausias dalelių tankis pakopoje yra 15 km aukštyje. Kosminės spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymas įvairiuose aukščiuose pavaizduotas 1.4 paveiksle. Ši kreivė vadinama Pfozterio kreive.

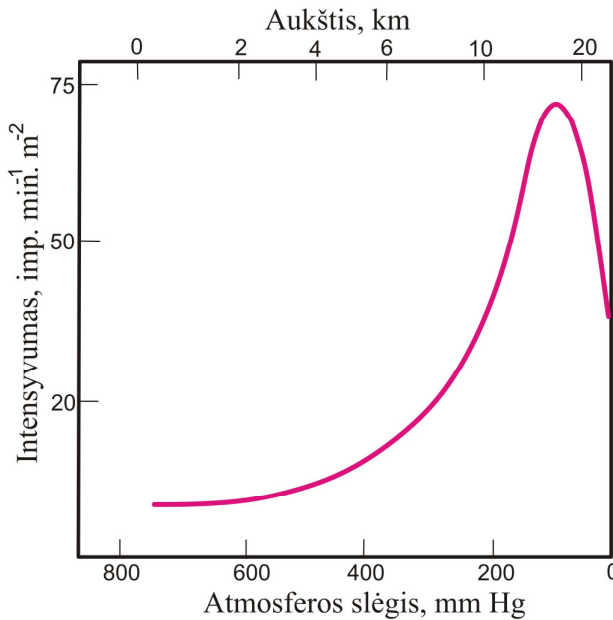
Iš 1.4 paveikslo matoma, kad kosminių dalelių srauto intensyvumas virš 15 km aukščio yra didžiausias ir praktiškai vienodas kaip ir viršutiniame atmosferos sluoksnyje (Volland 1995). Žemiau šio aukščio kosminių dalelių srauto intensyvumas sugeriamas atmosferos ir ties žemės paviršiumi intensyvumas mažėja. Kosminės spinduliuotės kitimą lemia Saulės ciklas bei geomagnetinė platumas.

Apskaičiuota (Ziegler 1998), kad apatiniuose atmosferos sluoksniuose liūčių susidarymas vyksta pagal tiesinį dėsnį. Tai reiškia, kad naujų dalelių atsirad-

dimą ir išnykimą galima aprašyti paprastomis diferencialinėmis lygtimis. Dalelių kiekio kitimą sraute galima apskaičiuoti pagal 1.7 formulę (Ziegler 1998).

$$I_2 = I_1 \exp\left(\frac{A_2 - A_1}{L}\right), \quad (1.7)$$

čia  $I_1$  – liūčių srautas atmosferos aukštyje  $A_1$ ;  $I_2$  – srautas aukštyje  $A_2$ ;  $L$  – dalelės sugerties ilgis.



**1.4 pav.** Kosminės spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymas įvairiuose aukščiuose ir juos atitinkantis atmosferos slėgis (Volland 1995)

**Fig. 1.4.** Cosmic ray intensity distribution of the altitude and the equivalent pressure of the atmosphere (Volland 1995)

Atmosferos aukščiai  $A_1$  ir  $A_2$  bei dalelės sugerties ilgis  $L$  turi būti aprašomi  $\text{g/cm}^2$  arba  $\text{kg/m}^2$  vienetais. Norint nuo aukščio, išreikšto metrais, pereiti prie aukščio išreikšto  $\text{kg/m}^2$ , reikia naudoti formulę (Ziegler 1998):

$$A = 1033 - (0,03648H) + (4,26 \cdot 10^{-7} H^2), \quad (1.8)$$

čia  $A$  – atmosferos aukštis, išreikštas  $\text{kg/m}^2$  vienetais;  $H$  – atmosferos aukštis, išreikštas metrais. 1.8 formulė taikoma vidutiniam atmosferos slėgiui pažemio sluoksnyje, esant  $0^\circ\text{C}$  temperatūrai, apskaičiuoti.

Kosminių dalelių sugerties ilgiai skiriasi dėl to, kad dalelių sąveikos su atmosferos dujų atomais yra skirtingos. Didesnis dalelės sugerties ilgis lemia lėtesnį kosminių spindulių srauto silpnėjimą. Protonų ir pionų kiekis kosminiuose spinduliuose sąlygiškai auga didėjant aukščiui, o miuonų, atvirkščiai, mažėja. Trijų kilometrų aukštyje protonų ir pionų komponentė sudaro apie 30 % viso kosminės spinduliuotės srauto, o jūros lygyje – mažiau nei 5 % (Ziegler 1998; Gaisser *et al.* 2006).

Aukštesniųjų energijų miuonai dėl stabdomosios spinduliuotės formuoja  $e^+$  ir  $e^-$  poras bei gama kvantus ir skaldo branduolius. Kadangi miuono masė yra daug didesnė už elektrono, miuono energijos nuostoliai stabdomajai spinduliuotei ir elektrono-pozitrono poroms suformuoti yra mažesni už greitųjų elektronų nuostolius. Dėl to miuonų skvarba yra daug didesnė, lyginant su elektronais, hadronais ir gama kvantais.

Jūros lygį pasiekia vos apie 1 % pirminių kosminių dalelių. Iš tikrųjų tai įvairi nevienalytė antrinė spinduliuotė. Ją sudaro:

- kietoji arba skvarbioji kosminės spinduliuotės komponentė, kuriai priklauso apie 2/3 viso jūros lygį pasiekiančių dalelių kiekio. Ją sudaro miuonai ir aukštųjų energijų gama kvantai. Jos intensyvumas siekia apie  $I_k = 1 \text{ dal cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;
- minkštoji, kuriai priklauso tik 1/3 visų jūros lygį pasiekiančių dalelių kiekio. Ją sudaro elektronai, pozitronai ir gama kvantai. Jos intensyvumas siekia apie  $I_m = 0,42 \text{ dal cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Miuonų energija ir kampinė sklaida atspindi pirminių dalelių pirminio spektro pokyčius, energijos nuostolius atmosferoje ir jų sklaidimą.

### 1.3. Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko pokyčiai ir jų įtaka kosminės spinduliuotės intensyvumui

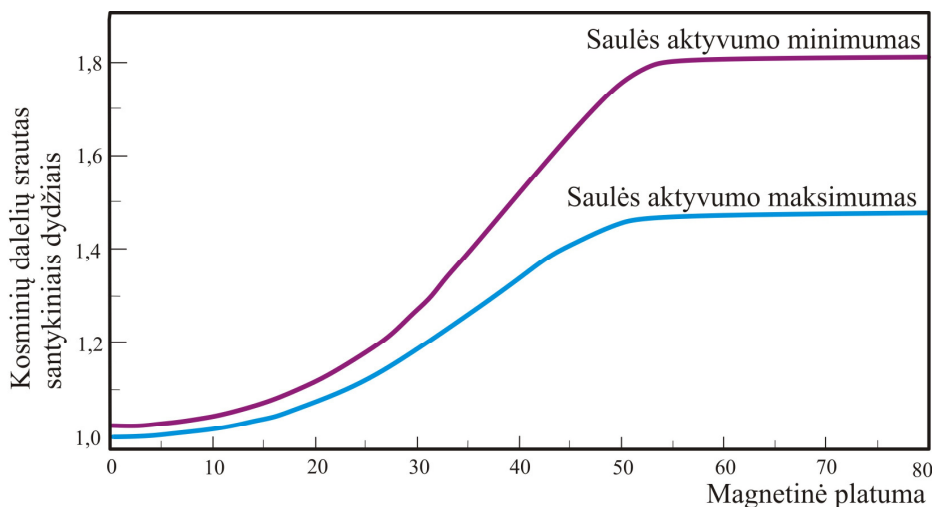
Saulės aktyvumo pokyčių ir Žemės magnetinio lauko parametrų pokyčių ryšys yra gerai žinomas (Hess 1939). Saulės aktyvumo pokyčiai ir geomagnetiniai parametrai iškraipo kosminės spinduliuotės srautą (KSS) visame jo kelyje per tarplanetinę erdvę ir Žemės atmosferą (Svensmark 1998). Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko ir kosminių spindulių sąveikos reiškinyss yra labai sudėtingas. Pirminė kosminė spinduliuotė sąveikauja su nuolat kintančiu magnetiniu lauku, kurį formuoja Saulė, ir todėl kosminės spinduliuotės intensyvumas pasidaro nepastovus (Schlaepfer 2003).

Žemės magnetinis laukas ir atmosfera formuoja du apsauginius sluoksnius prieš kosminę spinduliuotę ties žemės paviršiumi (Campbell 2003). Kadangi

Žemės magnetinis laukas ties ašigaliais yra silpnesnis, tai kosminės spinduliuotės dalelės turi tendenciją sekti magnetinio lauko jėgos linijas, tuo pačiu dalelės „lengvai“ gali prasiskverbti pro magnetinį lauką (Hess 1939). Dėl šios priežasties kosminės spinduliuotės intensyvumas ties ašigaliais yra didesnis nei ties pusiauju, kuris yra geriau apsaugotas Žemės magnetinio lauko (1.5 pav.). Kitu atveju kosminius spindulius sugeria Žemės atmosfera.

Žemės magnetinis laukas nuolat kinta. Galima išskirti ilgalaikius kitimus (vadinamus amžiaus variacijomis) ir trumpalaikius magnetinių audrų sukeltus kitimus.

Ilgalaikius kitimus sukelia Žemės gelmėse vykstantys geofiziniai procesai. Žemės magnetinio lauko kitimus sukelia Žemės magnetosferos ir jonosferos išoriniai šaltiniai, o labiausiai – Saulės vėjas (Merrill *et al.* 1983). Magnetosfera yra erdvės apie Žemę sritis, kurioje jaučiamas Žemės magnetinis laukas. Ji nesimetriška, nes ją veikia Saulės vėjas. Dėl Saulės vėjo poveikio šiek tiek pakinta priežeminis magnetinis laukas (Johnson 1938; Christensen *et al.* 2006).



**1.5 pav.** Kosminių dalelių srauto intensyvumas kintant Saulės aktyvumui (Schlaepfer 2003)

**Fig. 1.5.** Illustration of the cosmic ray latitude curve (Schlaepfer 2003)

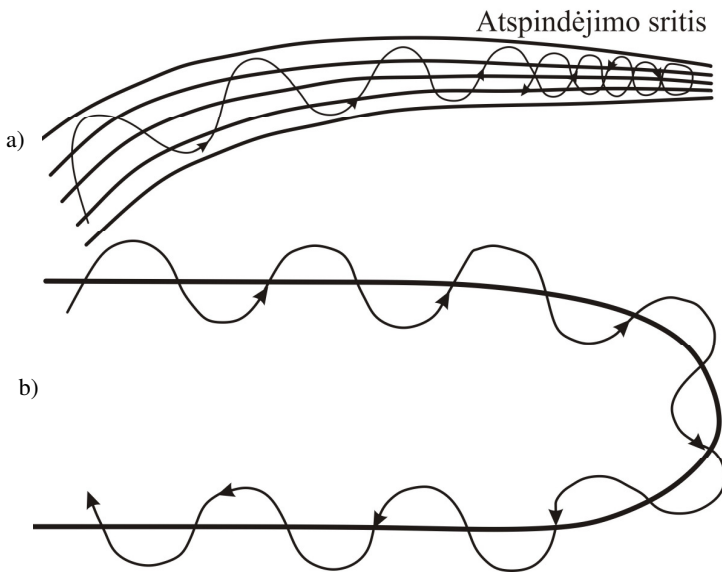
Trumpalaikius pokyčius lemia magnetinės audros. Yra didelio stiprumo magnetinės audros, vietinio pobūdžio trikdžiai, kurie stipriausi polinėse teritorijose, sūkuriniai trikdžiai, pulsaciniai labai trumpo periodo trikdžiai (Christensen *et al.* 2006).

Magnetinis laukas yra pakankamai stiprus ir gali nukreipti Žemės link skriejančias pirmines daleles. Tačiau netoli geomagnetinių polių dalelės turinčios

nedidelę energiją gali prasiskverbti į Žemės paviršių (Gabriel 1998; Wentz *et al.* 2003).

Geomagnetinio lauko kitimai yra svarbūs kosminės spinduliuotės ilgalaikiams pokyčiams (Usoskin 2003b; Rebel *et al.* 2007).

Greitai judančios dalelės atsitiktinai susiduria su netaisyklingos formos magnetiniu lauku, dėl to dalelės pakeičia savo momentą, įgydamos arba netekdamos energijos (1.6 pav.).



**1.6 pav.** Elektringųjų dalelių susidūrimų su magnetiniu lauku tipai: a – magnetinis atspindis; b – dalelių judėjimas spirale (Usoskin 2003b)

**Fig. 1.6.** Collisions types of charged particles with geomagnetic field: a – magnetic reflection; b – spiral motion of particles (Usoskin 2003b)

1.6 paveiksle matoma dviejų tipų susidūrimai arba, tiksliau sakant, tamprus dalelių išsklaidymas, lydimas dalelių magnetinio atspindžio (a) ir Lorencio jėgos veikiamų dalelių judėjimas spiralėmis apie magnetinio lauko jėgų linijas (b).

Kosminės spinduliuotės sukelta jonizacija yra svarbus faktorius, lemiantis atmosferos savybes. Kosminės spinduliuotės sukeltos jonizacijos variacijos yra dviejų skirtingų procesų padarinys – Saulės aktyvumo variacijos, kurios moduliuoja kosminės spinduliuotės srautą tarpplanetinėje erdvėje, ir geomagnetinio lauko pokyčiai, kurie veikia kosminės spinduliuotės sklaidą ties žemės paviršiumi. Geomagnetinio dipolio ašių migracija gali žymiai pakeisti kosminės spinduliuotės sukelto jonizaciją kai kuriose regionuose (Usoskin *et al.* 2007; Kovaltsov *et al.* 2007).

Magnetinis laukas veikia mažos energijos miuonus per pirminės kosminės spinduliuotės geomagnetinius sumažėjimus, įskaitant ir Rytų–Vakarų efektą ir per antrinių elektringųjų dalelių trajektorijos išlinkimą atmosferoje (Hansen *et al.* 2005).

Kosminės spinduliuotės intensyvumas jūros lygyje nėra pastovus, jis keičiasi periodiškai ir neperiodiškai, priklauso nuo (Johnson 1938; Cecchini *et al.* 2000; Stozhkov 2003):

- atmosferos slėgio;
- pagrindinio miuonų susidarymo aukščio.

Pastebėta, kai atmosferos slėgis didėja, kosminė spinduliuotė turi prasišverbti pro tankesnę atmosferą, rezultate sumažėja kosminės spinduliuotės intensyvumas jūros lygyje. Santykio  $\Delta I / I_0$  variacijos dėl atmosferos slėgio  $\Delta p$  pokyčio miuoninei komponentei (Theodórsson 1998):

$$\Delta I / I_0 = -\alpha_\mu \Delta p, \quad (1.9)$$

čia  $I_0$  – kosminės spinduliuotės intensyvumas 15 km aukštyje;  $\Delta I$  – intensyvumo pokytis (tarp intensyvumo 15 km aukštyje ir jūros lygyje);  $\Delta p$  – atmosferos slėgio pokytis;  $\alpha_\mu$  lygus  $0,021 \text{ (cm Hg)}^{-1}$ .

Pagrindinis miuonų susidarymo aukštis  $H$  yra 100 mbar atmosferos slėgio lygyje. Šis aukštis  $H$  kinta ir taip pat įtakoja miuonų srauto intensyvumą jūros lygyje. Šis pokytis aprašomas 1.10 lygtimi (Theodórsson 1998).

$$\Delta I / I_0 = -\alpha_H \Delta H, \quad (1.10)$$

čia  $\alpha_H$  lygus  $0,05 \text{ km}^{-1}$ ;  $\Delta H$  – nukrypimas nuo pagrindinio miuonų susidarymo aukščio (atmosferos slėgis lygus 100 mbar), km. Kadangi  $\Delta H$  vertė priklauso nuo atmosferos temperatūros, pagrindinis miuonų susidarymo aukštis kinta sezoniskai. Aukštis kinta 3–5 km ribose. Maksimalus jo aukštis pasiekiamas vasarą ir minimalus aukštis – žiemą.

Kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijos pateiktos 1.2 lentelėje (Usoskin 2003; Usoskin *et al.* 2004). Kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijos jaučiamos prie Žemės. Sezoninės ir paros variacijos yra dėl atmosferos struktūros skirtumo tarp žiemos ir vasaros sezonų, ir dienos-nakties metu, atitinkamai. Šis efektas svarbus miuoninei komponentei.

Dėl Žemės magnetosferos asimetrijos formos galimi maži paros lokalinio geomagnetinio sumažėjimo kitimai, ir atitinkamai, mažos kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijos ties žemės paviršiumi (Usoskin 2003b).

Kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijas dažniausiai sukelia lokalinė kosminės spinduliuotės anizotropija, kuri kinta per parą. Atsitiktinės kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijos susidaro dėl magnetinio debesies prasilen-

kimo su Žeme. Dėl to nežymiai sumažėja kosminės spinduliuotės intensyvumas (Johnson 1938; Minarovjech *et al.* 2008).

**1.2 lentelė.** Kosminės spinduliuotės intensyvumo variacijos (Usoskin *et al.* 2004)

**Table 1.2.** Cosmic ray intensity variations (Usoskin *et al.* 2004)

| Tipas                          | Amplitudė        | Savybės                                                                                                   |
|--------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Periodinės variacijos</b>   |                  |                                                                                                           |
| Sezoninis                      | < 1 %            | Antrinių dalelių sugerties variacijos atmosferoje dėl sezoninės atmosferos struktūros kitimo.             |
| Paros                          | < 1 %            | Antrinių dalelių sugerties variacijos atmosferoje dėl atmosferos struktūros skirtumo dienos-nakties metu. |
| Paros                          | Mažas            | Magnetosferos asimetrija dėl kurios atsiranda kasdieninės lokalinės geomagnetinio sumažėjimo variacijos   |
| <b>Atsitiktinės variacijos</b> |                  |                                                                                                           |
| Padidėja per magnetinės audras | Daugiau nei 10 % | Lokalinių geomagnetinių sumažėjimų, mažėjimas dėl sutrikdytos magnetosferos                               |

Kadangi Saulės aktyvumas kinta (11 metų Saulės ciklu), tai kinta ir kosminės spinduliuotės intensyvumas ties žemės paviršiumi (Milikan *et al.* 1939; Usoskin *et al.* 1998; Mishev 2006). Kosminės spinduliuotės fazės yra priešingos Saulės aktyvumo ciklo fazėms.

## 1.4. Meteorologinių sąlygų susidarymas ir kaita

Klimato sistemos (klimatosferos) atžvilgiu visas klimato kaitos priežastis galima suskirstyti į išorines ir vidines (Bukantis 2004).

Išoriniai veiksniai lemia Saulės energijos prietaką į klimatosferą. Šiai veiksmų grupei priklauso astronominės (Saulės ir Galaktikos spindėjimo intensyvumas; Žemės orbitos forma ir Žemės judėjimo savo orbita parametrai; Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą; Žemės sukimosi aplink savo ašį greitis) ir išorinės geofizinės (gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai) klimato svyravimo priežastys.

Nuo astronominių veiksnių priklauso Saulės energijos srauto (insoliacijos) intensyvumas ties viršutine atmosferos riba. Saulės insoliacija ties viršutine atmosferos riba gali kisti dėl daugelio priežasčių. Pirmoji iš jų – pačios Saulės šviesis. Keičiasi ne tik Saulės spindulių spektrinė sudėtis, bet ir jų intensyvumas.

Antroji priežastis, sukelianti Žemę pasiekiančios Saulės spinduliuotės kitimą, – tai Žemės orbitos parametrų (ekscentricitetas, Žemės ašies precesija, Žemės sukimosi ašies polinkis) kitimas, nes dėl jų pasikeičia atstumas iki Saulės.

Pastaruoju metu vis dažniau reiškiamos nuomonės apie klimato ir Saulėje vykstančių procesų ryšį. Svarbiausias heliofizinis faktorius – Saulės aktyvumas. Stiprėjant Saulės aktyvumui, Saulės fotosferoje susidaro stiprūs vietiniai magnetiniai laukai, kurie vėliau virsta magnetinio aktyvumo sritimis. Šiose srityse susidaro dėmės, flokulai, chromosferos žybsniai, iškyla protuberantai. Saulės aktyvumo metu padidėja jos vainikas, sustiprėja spinduliavimas ir padidėja Saulės vėjo intensyvumas (Bukantis 2004).

Nustatyti ryšiai tarp Žemės magnetinio lauko perturbacijų ir apatinėje atmosferoje vykstančių reiškinių interpretuojami kaip kosmose vykstančių procesų poveikis atmosferos procesams (Kangas *et al.* 1967). Esant sutrikdytam geomagnetiniam laukui, sustiprėja sąveika tarp troposferos ir stratosferos barinių laukų ir visuose lygiuose sustiprėja zoninė pernaša. Taip pat manoma, kad tik poliarinių sričių (iki 75° š. pl.) barinis laukas į geomagnetinio lauko trikdžius reaguoja vienareikšmiškai.

Silpnėjant Žemės geomagnetiniam aktyvumui, poliariniuose rajonuose formuojasi žemo slėgio sritys su giliais ciklonais, tuo tarpu vidutinėse platumose (Europos ir Šiaurės Amerikos žemdirbystės rajonuose) atmosferos slėgis kyla ir jau nuo gegužės mėnesio prasideda sausra.

Saulės aktyvumo poveikio atmosferos slėgio laukui mechanizmas gali būti toks: esant dideliame Saulės aktyvumui, dalelių srautai stiprėja ir prasiskverbia į viršutinę Žemės atmosferą ties magnetiniais ašigaliais, kur sukelia aukštųjų atmosferos sluoksnių jonizaciją ir išilimą. Oro masės iš išilusių poliarinių sričių nuteka, todėl tai gali būti Islandijos ciklono gilėjimo priežastis.

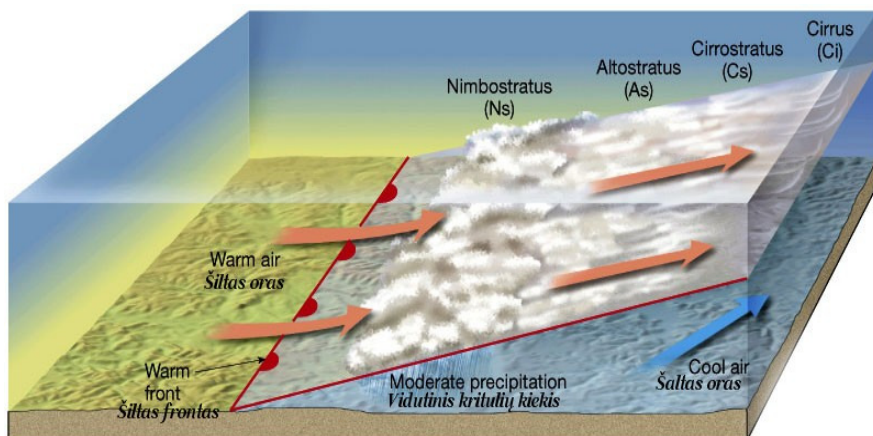
Tačiau ir šis, ir kiti Saulės – Žemės atmosferos sistemos ryšiai nėra pastovūs pirmiausia dėl to, kad juos gali nustelbti kiti, klimato svyravimus sukeliantys, veiksniai (Bukantis 2004).

Klimatas ir atmosferos meteorologiniai procesai priklauso ne tik nuo teritorijos geografinės padėties, Saulės spinduliuotės, bet ir nuo atmosferos cirkuliacijos: cikloninių ir anticikloninių darinių dažnumo, oro masių advekcijos, vertikalios oro judėjimo.

Bendroji atmosferos cirkuliacija (BAC) yra oro tėkmių visuma, dėl kurios vyksta horizontali ir vertikali oro masių apykaita. Oro masės – tai dideli oro kiekiai, kurie susidaro virš sausumos arba jūros. Oro masės, genamos vėjo, neša šilumą, šaltį, lietų ar sausrą, nulemia oro pokyčius (Lorenz 1966).

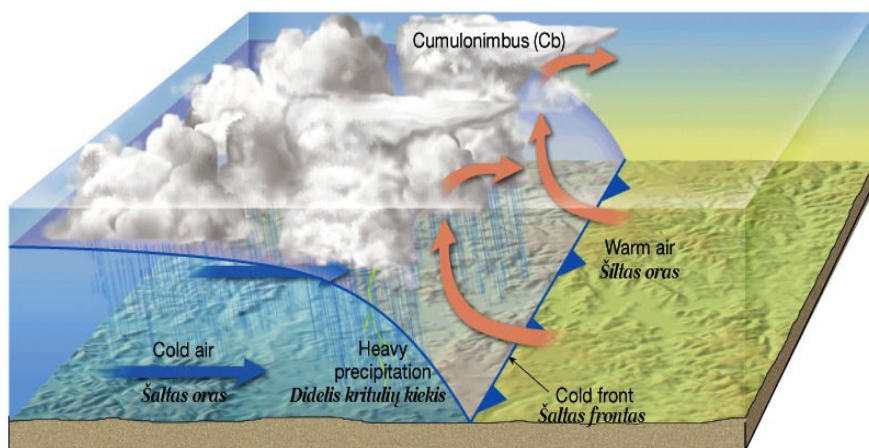
Oro masės judėti verčia atmosferoje atsirandantys nevienodo oro išilimo, tankio ir slėgio skirtumai bei Žemės sukimasis (Koriolio jėga). Dėl atmosferos bendrosios cirkuliacijos troposferoje, stratosferoje ir mezosferoje vyksta šiltų bei

šaltų oro masių apykaita horizontaliaja ir vertikaliaja kryptimi. Nuo BAC priklauso orų permainos konkrečiuose regionuose.



**1.7 pav.** Šiltojo fronto vertikalusis pjūvis (Lutgens *et al.* 2006)

**Fig. 1.7.** Warm front profile (Lutgens *et al.* 2006)



**1.8. pav.** Greitai judančio šaltojo fronto vertikalusis pjūvis (Lutgens *et al.* 2006)

**Fig. 1.8.** Fast-moving cold front profile (Lutgens *et al.* 2006)

Atmosferos frontas yra skirtingų oro masių pereinamoji zona, jų sąlyginis skiriamasis paviršius, kuriam būdinga didelė meteorologinių elementų kaita. Atmosferos frontai troposferoje nuolat atsiranda, juda ir nyksta (Lydolph 1985).

Šiltasis frontas susidaro ciklono pietrytinėje dalyje, kai šiltesnė oro masė stumia tolyn šaltesnę. Šiltasis frontas yra dviejų masių riba (1.7 pav.) (Lutgens *et al.* 2006).

Šiltas oras, būdamas lengvesnis, ne tiek stumia šaltą orą, kiek slenka jo paviršiumi ir kyla aukštyn. Šio proceso metu šaltas oras po šiltuoju sudaro pleišta. Būdingiausių šiltojo fronto požymių seka: pirmiausia pasirodo plunksniniai (Ci) debesys, pradeda mažėti slėgis, pamažu stiprėja vėjas. Praėjus šiam frontui, oro temperatūra pakyla, slėgis nesikeičia.

Šaltasis frontas susidaro pietvakarinėje ciklono periferijoje, kai šaltesnė oro masė stumia tolyn šiltesnę. Lėtai judantis šaltasis frontas (anafrontas) paprastai susidaro ciklonų periferijose arba aukšto slėgio gūbriuose (Lydolph 1985).

Šalta oro masė būna pasyvi, o jos paviršiumi lėtai slenka šilta oro masė, todėl anafronto debesų formos yra tokios pat kaip ir šiltojo fronto. Prie fronto linijos dažnai susidaro sluoksniniai lietaus (Ns) debesys.

Greitai judantis šaltasis frontas (katafrontas) susidaro centrinėje ciklonų dalyje. Greitai judėdamas šaltas oras šiltąjį energingai stumia centrinėje dalyje. Čia jis staigiai atvėsta ir prieš frontą susidaro kamuolinių lietaus (Cb) debesų volas (1.8 pav.) (Lutgens *et al.* 2006).

Praslenkant šaltiems frontams, staigiai krinta oro temperatūra, prieš fronto liniją iškrenta krituliai, pakyla slėgis.

Ciklone šaltasis frontas, judėdamas greičiau už šiltąjį, jį paveja, abu frontai susiliečia ir virsta okliuzijos frontu. Šaltasis frontas pradeda formuotis ciklono centre. Šiltas oras, buvęs ciklono šiltajame sektoriuje, išstumiamas į aukštesnius atmosferos sluoksnius, o ties žemės paviršiumi lieka tik šaltas oras. Šiltasis okliuzijos frontas susidaro tada, kai ne toks šaltas oras slenka šaltojo oro paviršiumi ir jį stumia. Viršuje esantis šaltas oras sudaro viršutinį okliuzijos frontą, kuriame vyrauja kamuoliniai (Cb) ir sluoksniniai (Ns) lietaus debesys (Lydolph 1985).

Šaltasis okliuzijos frontas susidaro tada, kai šaltas oras juda pirmyn, pasiveja ne tokį šaltą orą ir jį stumia aukštyn. Ne toks šaltas oras, išstumtas į aukštesnius atmosferos sluoksnius, formuoja šiltąjį viršutinį okliuzijos frontą, kuriame susidaro kamuoliniai lietaus (Cb) ir plunksniniai sluoksniniai (Cs) debesys.

Oro slėgis atmosferoje nuolat kinta, susidaro ir išnyksta įvairaus dydžio sūkuriai. Žemo slėgio sritis yra vadinama ciklonu. Ciklono metu šiltas oras kyla aukštyn, šaltas leidžiasi oro srovėmis judant iš periferijos į centrą žemyn. Žemiausias atmosferos slėgis yra ciklono centre (Barry, Carleton 2001; Werth 2004; Short 2005).

Netropiniai ciklonai dažniausiai formuojasi arktiniame ir poliariniame frontuose. Susidaro ne trumpesnės kaip 1000 km bangos. Vienos klimatinio fronto bangos išlinksta į pietus (plūsta šaltas oras), kitos – į šiaurę (plūsta šiltas oras).

Ten kur oras kyla vertikaliai, susidaro žemo slėgio sritis, kuri yra besiformuojančio ciklono centras. Ciklono centro užuomazgos prasideda klimato fronto bangos slėnyje, nuo kurio periferijos link slėgis kyla. Vėliau susidaro uždaro izobaros, kuriose slėgio gradientas nukreiptas iš periferijos centro link. Veikiamas horizontaliojo barinio gradiento, Koriolio, išcentrinės bei trinties jėgų, oras juda kreive iš periferijos į centrą (Lydolph 1985).

Vidutinių platumų troposferos oro masės plūsta iš vakarų į rytus. Tai lemia bendrasis Žemės rutulio temperatūros ir slėgio pasiskirstymas. Klimato frontų bangose susidariusių ciklonų skersmuo būna didesnis kaip 3000 km. Ciklonai, susiformavę Šiaurės Atlanto klimato fronto atšakoje, slenka per Vakarų Europą Sibiro link arba nuo Skandinavijos šiaurinėmis Azijos pakrantėmis.

Anticiklonai – tai atmosferos aukšto slėgio sritis. Anticiklonų periferijose (pakraščiuose) orai būna panašūs į gretimų ciklonų orus. Judrieji anticiklonai susidaro kartu su judriaisiais ciklonais netropinėse platumose, kai oro masės slenka iš vakarų į rytus.

Jiems būdinga terminė asimetrija, nes rytinė periferija yra šalta, o vakarinė – šilta. Judrieji anticiklonai pamažu išyla ir pasidaro šilti bei mažai judrūs. Tarpiniams anticiklonams dažniausiai būdingi pakilusio slėgio gūbriai be uždaro izobarų, esantys tarp dviejų ciklonų šeimų. Tai paprastai žemi, šalti ir greitai judantys anticiklonai.

Ciklonai, judėdami iš vakarų į rytus, krypsta ašigalių link, 60–65° platumose sudarydami žemo slėgio juostą, o anticiklonai – pusiaujo link, sudarydami subtropinę aukšto slėgio sritį. Nuolat susidarant ir slenkant naujiems ciklonams ir anticiklonams, vyksta oro masių apykaita: šaltos oro masės veržiasi į žemesnes platumas, o šiltos – į aukštesnes (Barry, Carleton 2001).

Šiaurės pusrutulyje žiemą virš atvėsusių žemynų formuojasi milžiniškos aukšto slėgio sritys, o virš šiltesnių jūrų – žemo slėgio sritys. Vasarą priešingai – virš labiau išilusio žemyno formuojasi žemo slėgio sritys, o virš vėsesnės jūros – aukšto slėgio sritys.

Dėl Žemės sukimosi apie savo ašį oro masės veikia Koriolio jėga. Todėl ciklonų oro srautai šiauriniame pusrutulyje juda prieš laikrodžio rodyklę ir pagal laikrodžio rodyklę pietiniame pusrutulyje (Barry, Chorley 2003; Short 2005; Stimac 2006).

Į Lietuvą ateinantys ciklonai dažnai formuojasi arktiniame ir poliariniuose frontuose. Ten kur oras kyla vertikaliai, susidaro žemo slėgio sritis, kuri yra besiformuojančio ciklono centras. Ciklone oras srūva iš pakraščių (periferijos) į centrą ir čia kyla aukštyrė. Ciklonas egzistuoja tol, kol nutrūksta šilto oro prietaka į jo sukurį. Vidutinių platumų oro masės plūsta iš vakarų į rytus (vakarų pernaša). Tai lemia bendrasis žemės rutulio temperatūros ir slėgio pasiskirstymas. Ciklonai, susiformavę šiaurės Atlante, slenka per Vakarų Europą Sibiro link arba nuo Skandinavijos šiaurinėmis Azijos pakrantėmis (Telkšnienė 2003).

Ciklonų judėjimo kryptis vidutinėse platumose sutampa su vakarų pernaša (vidutinėse platumose ištisus metus oro masės slenka iš vakarų į rytus). Vidutis ciklono judėjimo greitis yra 35 km/h. Šiaurės pusrutulyje susiformuoja per 20 ciklonų.

Paprastai susiformuoja ne vienas ciklonas, o visa ciklonų šeima. Tokia šeima juda ta pačia kryptimi – iš pietvakarių į šiaurės rytus. Per metus į Lietuvą iš Atlanto atslenka apie 60 ciklonų šeimų, kurių kiekvieną sudaro 4–5 ciklonai. Šios šeimos dažniau susidaro žiemą, kai didesni arktinio ir vidutinių platumų oro temperatūros skirtumai. Vidutinis ciklonų šeimos vystymosi ciklas yra 6 paros.

## 1.5. Atmosferos slėgis ir oro masių pernaša Lietuvoje

Atmosferos slėgis yra vienas iš meteorologinių elementų. Jeigu atmosferos slėgis, kaip meteorologinis elementas, tiesiogiai ir neveikia klimato, bet jis yra vienas iš svarbiausių elementų, lemiančių kitų labai svarbių meteorologinių elementų pokyčius. Dėl to nagrinėjant atmosferos frontinius procesus bei barinius laukus negalime atmesti nė vieno meteorologinio elemento, įskaitant ir atmosferos slėgį. Visų pirma netolygus atmosferos slėgio laukų pasiskirstymas sukelia oro judėjimą – vėją. Nuo vėjo savo ruožtu priklauso temperatūros, drėgmės, debesuotumo bei kritulių pasiskirstymas (Saucier 2003; Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Atmosferos slėgio laukas yra skaliarinis, ištisinis laukas. Išskirtinė atmosferos slėgio lauko savybė yra jo tolydumas, nes slėgio išsilyginimo procesas yra bangos pobūdžio – banginis santykis 1–10 km<sup>2</sup> plote sunyksta labai greitai. Tačiau žemutinėje troposferoje kai kada susidaro sąlygos, kai slėgio išsilyginimui atsiranda sunkumų. Tada horizontalūs slėgio pokyčiai gali keletą kartų viršyti įprastus. Dažnai tokios sąlygos susidaro, kai šiltas oras yra greitai išstumiamas įsiveržusio šalto oro. Aukščiau atmosferos slėgis mažėja, bet netolygiai.

Svarbi diferencialinė atmosferos slėgio lauko charakteristika yra barinis gradientas – vektorius ( $\Delta p$ ), apibūdinantis atmosferos slėgio pokytį erdvėje. Paprastai barinio gradiento horizontalus dydis yra 1–3 hPa šimtui kilometrų (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Vidutinis metinis atmosferos slėgis Lietuvoje yra 1014,7 hPa. Jis kinta nuo 1015,4 hPa Pietryčių Lietuvoje iki 1014,0 hPa vakaruose. Metinė vidutinio atmosferos slėgio svyravimų amplitudė yra nedidelė ir siekia 3,7 hPa.

Tokį nepastovų metinio atmosferos slėgio kitimą lemia bendrosios atmosferos cirkuliacijos ypatybės, t. y. aukšto ir žemo slėgio centrų įtaka.

## 1.6. Atmosferos cirkuliacijos centrai

Vienas iš pagrindinių BAC veiksmų, kurie daugiausiai lemia Lietuvos orus ir klimata, yra atmosferos veiksmo centrai arba žemo ir aukšto slėgio sritys. Šios sritys, kurių veikimas Lietuvoje jaučiamas visus metus, vadinamos nuolatinėmis (permanentinėmis) atmosferos veiksmo sritimis arba centrais (AVC).

Pastovūs AVC yra jūriniai Azorų ir Honolulu aukšto slėgio centrai, Islandijos ir Aleutų žemo slėgio centrai, iš kurių tik du – Islandijos žemo slėgio centras (Islandijos depresija) ir Azorų aukšto slėgio centras (Azorų maksimumas) – turi tiesioginės įtakos Lietuvai, o kiti du – Honolulu ir Aleutų – veikia tik per atmosferos bendrosios cirkuliacijos persiskirstymą ir labai retai gali daryti šalutinį poveikį Lietuvos orams bei klimato elementams. Sezoniniai AVC yra Sibiro anticiklonas (žiema) ir Azijos ciklonas (vasara), kurie formuojasi virš žemyno.

Žiemą Lietuva atsiduria tarp dviejų galingų barinių sistemų. Rytuose, virš atšalusio žemyno Sibire, susiformuoja galinga aukšto slėgio sritis – Sibiro anticiklonas, o vakaruose, virš nespėjusio atvėsti Atlanto vandenyno ir Golfo srovės, susiformuoja žemo slėgio sritis – Islandijos minimumas arba Islandijos depresija. Toks dviejų galingų barinių sistemų susidūrimas turi didžiulės įtakos Lietuvos orams ir sukelia didelius ir dažnus slėgio svyravimus. Žiemą Islandijos depresija yra žemo slėgio srities, plačiai pasklidusios subpoliarinėse platumose, dalis, veikiama terminių procesų, kurie susidaro dėl skirtingos vandenyno paviršiaus ir apatinių atmosferos (troposferos) sluoksnių temperatūros. Vasarą Islandijos depresiją sudaro žemo slėgio slėnis, susiformavęs į vakarus ar į rytus nuo Grenlandijos.

Pavasariį kylant oro temperatūrai ir mažėjant skirtumams tarp žemyno ir vandenyno, slėgio svyravimai mažėja, susilpnėja Sibiro anticiklonas ir Islandijos depresija, bet sustiprėja Azorų maksimumo veikla.

Azorų anticiklonas yra Šiaurės Atlanto rytinėje dalyje ties 20–30° š. pl. ir 35° v. ilg. Ši aukšto slėgio sritis nėra visiškai stacionari ir migruoja elipsine trajektorija, nors kaip atskiras barinis darinys yra atpažįstama, jeigu turi bent vieną uždara 1020 hPa izobarą.

Vasarą dar labiau sustiprėja Azorų maksimumo veikla, bet stiprėja ir virš Viduržemio jūros bei Šiaurės Atlanto besiformuojančių ciklonų veikla.

Rudenį vėl pradeda formotis Sibiro anticiklonas, suaktyvėja Islandijos depresija, tačiau tuo pat metu dar gana aktyvūs (ypač rudens pradžioje) vasaros procesai, t. y. Azorų anticiklonas, didėja slėgio svyravimų amplitudė, kinta slėgio gradientas (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Lietuva yra tarpinėje zonoje tarp aukšto ir žemo slėgio sričių, besiformuojančių virš Azijos žemyno rytuose ir Atlanto vandenyno vakaruose. Dėl to Lietuvoje yra dažnos orų permainos bei slėgio pokyčiai. Visus metus didesnę įtaką

daro virš Atlanto vandenyno susiformavę bariniai dariniai ir vyraujanti vakarinė oro masių pernaša.

Egzistuoja periodiniai ir neperiodiniai atmosferos slėgio svyravimai. Vienus jų sukelia Saulė ir šalies geografinė padėtis, o kitus – bendroji atmosferos cirkuliacija.

Riekia pažymėti, kad atmosferos slėgio metinė ir paros eiga yra susijusi su barinių centrų išsivystymo stadija, jų judėjimo per teritoriją greičiu, ciklonų ir anticiklonų kaita. Šiuos reiškinius lydi staigūs orų pokyčiai. Tokie atmosferos slėgio pokyčiai būdingesni šaltajam metų laikui, kai per šalį keliauja judrūs ir gilūs Atlanto ciklonai.

Lietuvos orams didesnę įtaką daro ciklonai, jų metų bėgyje būna daugiau. Lietuvą pasiekiantys ciklonai formuojasi Šiaurinėje Atlanto vandenyno dalyje. Didžiuliai žemo atmosferinio slėgio sūkurių juda per Lietuvą iš vakarų į rytus, pasiekia Rytų Europą (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Vidutinių platumų anticiklonai susidaro arktiniame ir poliariniame klimato frontuose. Jų skersmuo gali siekti 3 000 km. Šie ciklonai slenka lėtai, o žiemą sustoja virš atšalusių kontinentų. Arktiniai (Antarktiniai) anticiklonai susidaro ašigalių srityse virš atšalusio sniego ir ledynų paviršiaus. Į Lietuvą anticiklonai dažniausiai plūsta iš Azorų salų.

Vasaros metu Lietuvos orus lemia anticiklonai, susiformuojantys Rytų Europos, Sibiro, Vidurinės Azijos ar Pietų Ukrainos platumose. Vyraujant anticiklonui, orai yra giedri, mažai debesuoti, be kritulių, pučia rytų ar pietryčių bei pietvakarių vėjai. Tokiems orams yra būdingi ryškesni paros temperatūros svyravimai. Žiemos laikotarpiu, esant anticiklonui oras yra šaltas, be kritulių, santykinė drėgmė yra palyginti nedidelė. Artėjant anticikloniniam orui, atmosferos slėgis pradeda kilti, nurimsta vėjai, mažėja debesų kiekis.

Miuonų srautas priklauso nuo atmosferos struktūros. Kuo daugiau aukštesnėje atmosferoje įvyksta pirminių kosminių dalelių susidūrimų, tuo daugiau miuonų stebima ties žemės paviršiumi. Miuonų komponentės pasikeitimai susiję su atmosferos pasikeitimais. Prieš susidarant anticiklonui, kietosios kosminės spinduliuotės srauto (KKSS) reikšmės didėja, o prieš cikloną – mažėja.

Lietuvoje per metus vidutiniškai būna 221 diena cikloninio ir 144 dienos anticikloninio tipo atmosferos cirkuliacijos. Intensyviausia ir kontrastingiausia atmosferos cirkuliacija vyksta lapkričio-kovo mėnesiais. Todėl žiemą paros atmosferos slėgio svyravimas Lietuvoje gali siekti 0,5–0,6 hPa. Vasarą, kai atmosferos cirkuliaciją formuoja mažesnių slėgio kontrastų bariniai dariniai (galingų anticiklonų praktiškai nepasitaiko, o žemo slėgio ciklonai tik 1–2 dienos per mėnesį), paros atmosferos slėgio skirtumai neviršija 0,7–0,9 hPa. Vasaros – liepos mėnesio – atmosferos slėgio minimumas greičiausiai susidaro dėl to, kad tuo metu virš Lietuvos beveik nepasitaiko galingų anticiklonų.

Tačiau kiti bariniai anticikloninio tipo dariniai orus lemia vidutiniškai 12 dienų per mėnesį. Mažiausiai anticikloninės cirkuliacijos dienų būna lapkričio–gruodžio mėnesiais, kai gilėja Islandijos depresija, o Azijos anticiklono vakarinis gūbrys būna dar nepasiekęs Rytų Europos. Su šio gūbrio išsiplėtimu į vakarus susijęs ir atmosferos slėgio maksimumas sausio mėnesį Lietuvoje.

Iš viso per metus Lietuvos orus formuoja vidutiniškai 57 ciklonai ir 47 anticiklonai. Atskirais metais jų skaičius gali svyruoti atitinkamai nuo 37 iki 79 ir nuo 34 iki 62. Cikloniniai be pertraukos vidutiniškai trunka 30–40 valandų, o anticiklonai – trumpiau – 25–30 valandų.

Lietuvą pasiekiančių barinių darinių judėjimo trajektorija būna gana įvairi (1.3 lentelė). Anticiklonai dažniausiai atslenka iš vakarų, t. y. iš Atlanto vandenyno per Vakarų Europą arba iš Norvegų bei Barenco jūrų per Skandinaviją. Žiemą kartais įsiveržia ultrapoliariniai anticiklonai iš Karos jūros. Vasaros anticiklonai susiję su Azorų anticiklono gūbriu, išplitusiu į Rytų Europą.

Pietinių ciklonų susidarymo priežasčių, jų evoliucijos, judėjimo trajektorijos nagrinėjimas svarbus tuo, kad jie Lietuvoje lemia orų pablogėjimą. Šaltuoju metų laiku su pietiniais ciklonais gali būti susijusios pūgos, lijundra, gausūs sniego krituliai. Šiltuoju metų laiku jie lemia išsiskisimus, dažnai liūtinio pobūdžio kritulius, perkūniją, krušą.

Prognozuoti pietinių ciklonų susidarymą ir jų judėjimo kryptį yra sunku, nes ciklonai susidaro esant nevienodoms sąlygoms. Kartais virš Lietuvos esant pietiniams ciklonams atmosferos reiškiniai labai suintensyvėja ir prilygsta net stichiniams reiškiniams (Bartkevičienė 1999).

Klimatinių anomalijų susidarymo priežastis yra blokuojantieji procesai, kurie lemia vidutinių platumų orą ir klimato sąlygų susidarymą (Lupo 1995; Wiedenmann *et al.* 2002). Aukšti ir galingi blokuojantieji anticiklonai, o kai kada ir gūbiai sudaro sąlygas klimatinių anomalijų (pvz., sausrų) formavimuisi virš Rytų Europos žiemos pabaigoje ir pavasario pradžioje. Didžiuliai stacionarūs ciklonai ir anticiklonai įsivyrąja visoje troposferoje ir žemutinėje stratosferoje (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Stacionarūs ciklonai ir anticiklonai gali išsivystyti iš frontinių barinių darinių dėl jų regeneracijos arba susiliejo. Kartais jie susidaro, kai pietinių aukštuminių slėnių ir šiaurinių aukštuminių gūbrių dalys „nukertamos“ prie platuminio termobarinio lauko. Galingas aukštuminis anticiklonas tampa blokuojančiu anticiklonu.

**1.3 lentelė.** Įvairių trajektorijų anticiklonų ir ciklonų, turinčių įtakos Lietuvos orams, pasikartojimas (pagal A. Bužą)

**Table 1.3.** Frequency of various paths of anticyclones and cyclones, affecting the Lithuanian weather (pagal A. Bužą)

| Trajektorijos pavadinimas | Judėjimo kryptis                                                                                       | Pasikartojimas, % |              |             |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|-------------|
|                           |                                                                                                        | Per metus         | Vasaros metu | Žiemos metu |
| ANTICIKLONAI              |                                                                                                        |                   |              |             |
| Atlanto                   | Iš Atlanto vandenyno šiaurės per Vakarų Europą į rytus                                                 | 36                | 48           | 29          |
| Norvegijos                | Iš Norvegų ir Barenco jūros per Skandinaviją į pietryčius                                              | 40                | 50           | 39          |
| Naujosios Žemės           | Iš Naujosios Žemės į pietus ar pietvakarius                                                            | 21                | 2            | 28          |
| Karos jūros               | Iš Karos jūros į pietvakarius                                                                          | 3                 | -            | 4           |
| CIKLONAI                  |                                                                                                        |                   |              |             |
| Islandijos                | Iš Islandijos regiono per Norvegų jūrą Barenco jūros link                                              | 27                | 19           | 34          |
| Britanijos                | Iš Airijos jūros per Baltiją Baltosios jūros link                                                      | 26                | 41           | 10          |
| Pietinė                   | Iš Viduržemio ir Juodosios jūros iš Balkanų pusiasalio juda į šiaurę, šiaurės rytus ir šiaurės vakarus | 24                | 23           | 24          |

Blokuojančių anticiklonų kartojimasis tam tikrose geografiniuose rajonuose ir skirtingais laikotarpiais rodo, kad blokuojantys srautai susijęs su Žemės paviršiaus terminio lauko ypatybėmis (Lupo *et al.* 1999; Barry, Carleton 2001). Blokuojančių anticiklonų atsiradimo dažnumas įvairiuose Šiaurės pusrutulio rajonuose turi sezoninę išraišką. Daugiausiai blokuojančių anticiklonų virš Atlanto vandenyno susidaro pavasarį (Olson 2000). Žiemą blokuojantieji anticiklonai dažniausiai susiformuoja rytiniuose Atlanto ir Ramiojo vandenynų rajonuose į rytus nuo šiltųjų jūrinių srovių. Vasarą, atvirkščiai, dažniausiai jie atsiranda virš žemynų (Galvonaitė *ir kt.* 2007). Rudens sezonu blokuojančių anticiklonų virš Atlanto vandenyno susidaro retai (Olson 2000).

Didžioji dalis blokuojančių anticiklonų susidaro 50–70° Šiaurės platumos virš Atlanto vandenyno (iš 114–82 virš Atlanto, 32 – virš Ramiojo vandenyno) (Lamb 1972). Dėl to galima manyti, kad blokuojančių anticiklonų atsiradimo dažnumas tiesiog proporcingas oro įšilimo šiame rajone laipsniui. Kadangi virš

šilto vandenyno paviršiaus žiemą vyksta intensyvus oro masių vertikalus maišymasis, paklotinio paviršiaus temperatūros lauko ypatybės greitai persiduoda visai žemutinei troposferai. Pagrindinė sąlyga blokuojantiems anticiklonams susidaryti yra aukšta vandens temperatūra šiauriniuose rajonuose (Lupo 1995; Mauritsen *et al.* 2004).

Dar viena ne mažiau svarbi sąlyga blokuojantiems anticiklonams susidaryti yra paklotinio paviršiaus temperatūros lauko persitvarkymas į mažagradientį didelėje teritorijoje. Ryškiausi dariniai lengviausiai gali susidaryti tuose rajonuose, kur būna minimalus skirtumas tarp paviršiaus temperatūros aukštutinėse ir žemutinėse platumose. Toks minimalus temperatūros skirtumas Šiaurės pusrutulio aukštutinėse ir žemutinėse platumose pastebimas šalia šiltų jūrinių srovių. Vadinasi, žiemą virš šiltų jūrinių srovių būna palankiausios sąlygos blokuojantiems anticiklonams susidaryti (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Blokuojančių anticiklonų formavimasis lemia kietosios kosminės spinduliuotės srauto registraciją ties žemės paviršiumi.

## 1.7. Meteorologinių elementų sąryšis su kosminės spinduliuotės srauto variacijomis

Kosminės spinduliuotės variacijų viršutiniuose atmosferos sluoksniuose ir ties žemės paviršiumi analizės duomenis galima naudoti tiriant įvairius šiuolaikiniam mokslui aktualius klausimus. Vienais atvejais nagrinėjamas tiesioginis kosminių dalelių poveikis kai kuriems reiškiniams, pvz., navigacijai ir radiokomunikacijai, spinduliuotės žalai žmogui atviroje kosminėje erdvėje, atmosferos ozono nutekėjimui ir t. t. Kitais atvejais, tiriamas netiesioginis kosminės spinduliuotės srauto poveikis, pvz., orai ir klimatologija, klinikinės patologijos ir biosfera, geomagnetinio aktyvumo lygis, pašvaistės.

Pastaraisiais dešimtmečiais visame pasaulyje plačiai atliekami Saulės aktyvumo ir geomagnetinio lauko įtakos žmogaus organizmui tyrimai. Ypač tuo domimasi Europoje (Ormeny, Nemeth 1990; Stoupel *et al.* 2006; Papailiou *et al.* 2009), Japonijoje (Misumi 1986), JAV (Shea, Smart 2000; Palmer *et al.* 2006), Rusijoje (Dmitrieva *et al.* 2000) ir kt. Įrodyta, kad geomagnetinio lauko svyravimai priklauso nuo Saulėje vykstančių reiškinių.

Širdies ir kraujagyslių sistemos ligos yra daugiausiai paplitusios (sudaro apie 30–50 % visų ligų) ir dažniausiai tampa žmogaus mirties priežastimi. Saulės aktyvumo ir geomagnetinių veiksnių įtaka širdies ir kraujagyslių ligoms plačiai tiriama visame pasaulyje. Ukrainos mokslininkė M. A. Nuzhdina ištyrė Saulės aktyvumo, geomagnetinio lauko ir meteorologinių veiksnių (oro temperatūros, drėgmės, slėgio) įtaką širdies ir kraujagyslių ligų plitimui Kijevo mieste (Ukrai-

na). Ji pastebėjo, kad 1980–1990 širdies ir kraujagyslių ligų kiekio didėjimas sutapo su Saulės 11 metų aktyvumo mažėjimo faze (Nuzhnina 1998).

Itin daug dėmesio skiriama tyrimams, norint apibrėžti meteorologinių veiksnių įtaką žmonėms, sergantiems širdies ir kraujagyslių ligomis. Daugiau kaip 50 % pacientų, sergančių širdies ir kraujagyslių sistemos ligomis, reaguoja į orų kaitą (Duffy 1983; Beggs 2000; Mackensen *et al.* 2005).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto docentė A. Usovaitė nustatė ir įvertino sąryšį tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų 1997–1999 ir 2001–2004 metais (Styra *et al.* 2005a; Styra *et al.* 2005b; Styra *et al.* 2004). Ji nustatė, kad integrinį kietosios kosminės spinduliuotės srautą galima naudoti prognozuojant širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimus po 1–3 parų. Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų parodė stiprią koreliaciją. Koreliacijos koeficientai kinta nuo 0,83 iki 0,88 per 2001–2004 metų laikotarpį.

Trumpalaikiai širdies ir kraujagyslių ligų paūmėjimų prognozei pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas A. Usovaitė siūlo naudoti du empirinius kriterijus, tai KKSS reikšmių mažėjimas daugiau nei 200 imp./h paros laikotarpiu, kuris tęsiasi ilgiau nei keturias valandas bei gretimų parų KKSS reikšmių sumažėjimas daugiau nei 15 imp./h. Naudojant šiuos empirinius kriterijus gautas prognozės efektyvumas siekė iki 75 % po 1–2 parų ir iki 77 % po 2–3 parų (Styra *et al.* 2002; Styra *et al.* 2003).

Saulės aktyvumo pokyčiai daro įtaką įvairiems Žemėje vykstantiems procesams, svyravimai veikia gyvąją gamtą. Taigi šios disertacijos tema tiesiogiai susijusi su viena iš aktualiausių netiesioginio kosminės spinduliuotės intensyvumo pokyčių tyrimų duomenų panaudojimo sritimi – tiriant netiesioginį kosminės spinduliuotės srauto poveikį klimatologijai per geomagnetinio lauko svyravimus.

Kosminė spinduliuotė lemia daugelį atmosferoje vykstančių procesų. Tinsley (1996) ir Tinsley, Heelis (1993) darbuose aprašyta koreliacija tarp Saulės aktyvumo ir klimato. Nustatė, kad egzistuoja koreliacija tarp atmosferos dinamikos pokyčių ir vertikalios oro tankio. Oro tankio pokyčiai priklauso nuo išorinių veiksnių, tai yra nuo Saulės vėjo moduliacijos. Mokslininkai nustatė, kad yra fizinis ryšys tarp Saulės aktyvumo ir troposferos bei žemutinės stratosferos dinamikos.

Svensmark, Friis-Christensen (1997) ir Svensmark (1998) darbuose aprašė sąryšį tarp kosminės spinduliuotės ir debesų formavimosi. Nustatyta, kad egzistuoja statistiškai stiprus koreliacinis ryšys tarp kosminės spinduliuotės ir debesų. Taip pat šis ryšys nagrinėjamas (Kangas *et al.* 1967; Stozhkov *et al.* 2001; Mishev 2006; Berkova *et al.* 2008) darbuose.

Atmosferos elektrinis laukas lemia miuonų intensyvumą ties žemės paviršiumi (Alexeenko *et al.* 2001; Alexeenko *et al.* 2002; Khaerdi-nov *et al.* 2003a; Khaerdinov *et al.* 2003b; Alvarez-Castillo *et al.* 2008). Trumpalaikis miuonų intensyvumas susidaro griauštinių metu.

Miuonų intensyvumas ties žemės paviršiumi kinta dėl skirtingų termodinaminių procesų miuonų susidarymo lygyje (10–20 km) ir oro srauto turbulencinių procesų žemutiniuose sluoksniuose (Yashin *et al.* 2006). Be šių aukščiau išvardintų procesų, yra globalios kosminės spinduliuotės intensyvumo kitimo priežastys. Tai būtų dienos-nakties ir žiemos-vasaros svyravimai. Tokiu būdu miuonų srauto variacijos pateikia informacija apie atmosferoje vykstančius reiškinius. Vadinasi, šias variacijas galima naudoti prognozuojant tokius reiškinius kaip audros, uraganai ir kt., kaip geomagnetinio lauko svyravimų pasekmes.

1928 metais Myssowsk ir Tuwim išsiaiškino, kad kosminės spinduliuotės intensyvumas kinta kartu su atmosferos slėgiu. Šis efektas buvo interpretuojamas kaip kosminės spinduliuotės sugėrimas ore (Janossy 2007).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fizikos katedros profesorius D. Styro tyrė kietosios kosminės spinduliuotės srautą 1985–1994 m. 0,3–0,5 MeV energijų diapazone Vilniaus mieste. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto stebėjimo duomenų analizės rezultatus pateikė darbuose (Стыро 1983; Береснев *и др.* 1988; Styro 1996). Jis nustatė, kad KKSS intensyvumui būdingas didėjimas rudens–žiemos ir mažėjimas – pavasario–vasaros sezonais. Šis reiškinys atsiranda dėl Žemės ašies orientacijos Saulės atžvilgiu, elektromagnetinio lauko svyravimų bei atmosferos procesų kitimo. KKSS intensyvumo kaita leidžia prognozuoti meteorologinių procesų eigą. Nustatytas sąryšis tarp KKSS ir atmosferos slėgio kitimo po kelių parų. Naudojant šį efektą galima pagerinti atmosferos slėgio prognozę pagal KKSS kitimus (Стыро 1991).

Стыро (1991) darbe aprašyta, kad registruojant kietosios kosminės spinduliuotės srauto sumažėjimus, galima nustatyti vietą, kur susidarė ciklonas. Jei KKSS sumažėjimas užfiksuotas ryte (9–11 h), tai ciklonas susidaro virš Grenlandijos arba Islandijos salų. Jeigu KKSS sumažėjimas užfiksuotas dienos metu (12–15 h), tai ciklonas susidaro virš Niūfaundlendo salų.

Famoso *et al.* (2004) darbe aprašytas paprasčiausias metodas kosminei spinduliuotei registruoti. Registruojant kosminę spinduliuotę su Geigerio skaitikliu ir matuojant atmosferos slėgį, galima apskaičiuoti barometrinio koeficiento vertę.

Bogdanov *et al.* (2003) darbe nagrinėjamas ryšys tarp atmosferos slėgio žemės paviršiuje variacijų ir geomagnetinių bei kosminių faktorių. Ryšys tarp atmosferos slėgio variacijų ir geomagnetinio lauko aktyvumo statistškai yra nežymus. Tačiau gauta atvirkštinė koreliacija tarp kosminės spinduliuotės intensyvumo ir atmosferos slėgio variacijų.

Pudovkin *et al.* (1997) ir Kessler (2002) darbuose analizuoja galaktinės kosminės spinduliuotės intensyvumo sąryšį su atmosferos slėgiu, temperatūra bei vėjo greičiu. Nustatė, kad šis sąryšis griežtai priklauso nuo geografinės vietovės, vyraujančių klimato sąlygų, taip pat ir oro sąlygų. Darbe nustatyta, kad atmosferos parametrai kinta per pirmąsias penkias dienas po kosminės spinduliuotės intensyvumo pokyčių. Tačiau gautas ryšys priklauso nuo ciklonų ir anticiklonų.

Elsner *et al.* (2001) ir Kavlakov (2006) darbuose aprašyta, kad kosminės spinduliuotės intensyvumas, Saulės dėmių skaičius ir geomagnetinio lauko parametrai turi įtakos ciklonų su gilia depresija vystymuisi. Visi aukščiau minėti parametrai parodo intensyvius atmosferos trikdžius prieš ir po uragano pasirodymo. Charakteringi kosminės spinduliuotės intensyvumo pikai atsiranda prieš 5–20 dienų iki uraganui prasidedant.

Veretenenko *et al.* (2004; 2006a; 2006b; 2007) darbuose nagrinėjamas ryšys tarp kosminės spinduliuotės variacijų ir ciklonų vystymosi Šiaurės Atlanto vandenyne. Kadangi kosminė spinduliuotė prasiskverbia iki stratosferos, ji keičia termobarinio lauko struktūrą ir dėl to susidaro palankios sąlygos ciklonų gilėjimui.

Saulės aktyvumo pokyčiai lemia įvairius Žemėje vykstančius procesus per geomagnetinio lauko kitimus, tarp jų ir slėgio kitimą.

Padidėjęs Saulės aktyvumas sustiprina ciklonų ir anticiklonų judėjimą, todėl taip pat kinta orų bazinis režimas. Registruojant KKSS ties žemės paviršiumi, jo variacijas galima naudoti kaip netiesioginį laukiamo atmosferos slėgio pokyčio indikatorius.

## 1.8. Kosminės spinduliuotės matavimo prietaisų apžvalga

Skirtingoms dalelėms registruoti naudojami įvairūs detektoriai. Tačiau naudojant skirtingą aparatūrą, būtina išsiaiškinti jos veikimo principą, žinoti, kaip skirtingos elementarios dalelės yra registruojamos ir atpažįstamos.

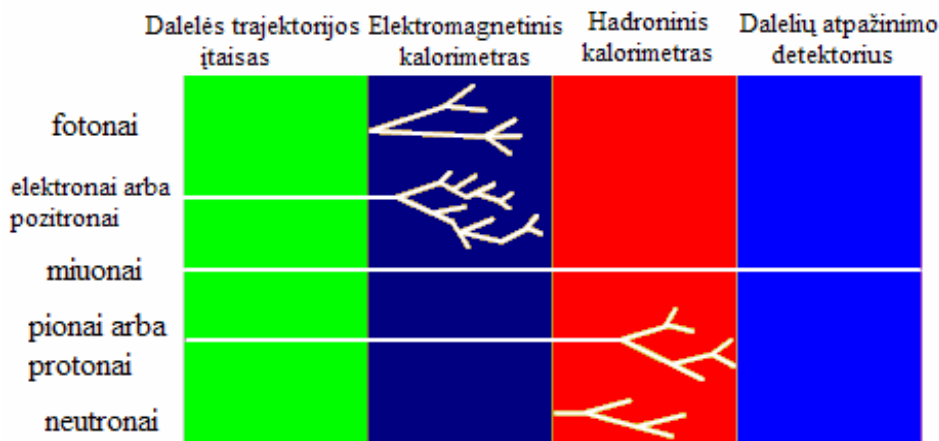
Detektorių veikimo principas: registruoti dalelės po susidūrimų ir vizualiai pateikti informaciją. Žinant dalelės greitį, masę, elektrinį krūvį, galima atpažinti detektoriaus užregistruotą dalelę (Berners-Lee *et al.* 2005). Praeidamos pro detektorių, dalelės palieka „pėdsaką“, t. y. informaciją apie save.

Šiuolaikiniai daleles registruojantys aparatai susideda iš kompleksiniai sujungtų skirtingų prietaisų. Pagrindiniai prietaisai (1.8 pav.), kurie įeina į kompleksą yra tokie:

- dalelės trajektorijos nustatymo įtaisas – fiksuoja ir parodo dalelės judėjimo kryptį;
- kalorimetrai – stabdo, sugeria ir matuoja dalelių energiją;
- dalelių atpažinimo detektorius – identifikuoja dalelės tipą, naudojant skirtingą atpažinimo metodą.

1.9 paveiksle pavaizduoti skirtingų dalelių registravimo įtaisai. Iš paveikslo matoma, kad nė vienas prietaisas negali sustabdyti miuonų, skirtingai nei fotonų, elektronų, pozitronų, protonų bei kitų dalelių.

Norint po tarpusavio susidūrimų lengviau atpažinti dalelę, dažniausiai detektoriuje yra sukuriamas magnetinis laukas. Paprastai dalelės juda tiesia linija, bet esant magnetiniam laukui jų judėjimo trajektorija išlinksta į kreivę. Judėjimo kelio išlinkimas leidžia atpažinti dalelės tipą (Berners-Lee *et al.* 2005).



**1.9 pav.** Pagrindiniai prietaisai registruojantys daleles (Berners-Lee *et al.* 2005)

**Fig 1.9.** The main devices registering various particles (Berners-Lee *et al.* 2005)

Kosminės spinduliuotės (KS) dalelės nustatomas pagal skirtingą jų sąveikos tipą:

- neelastingas išbarstymas dėl Kulono jėgos tarp KS dalelių ir detektoriaus medžiagos elektronų;
- elastingas išbarstymas dėl elektromagnetinės ar stipriosios sąveikos tarp KS dalelių ir branduolių;

- Čerenkovo spinduliuotės emisija dėl KS dalelių greito judėjimo medžiagoje;
- branduolinės reakcijos (neelastingas išbarstymas dėl stipriosios sąveikos) tarp KS dalelių ir branduolių;
- stabdomoji spinduliuotė, susidariusi dėl detektoriaus medžiagoje esančių KS dalelių. Ši spinduliuotė yra maža ir nereikšminga KS protonams ar sunkesnėms KS dalelėms.

Daugelis šiuolaikinių dalelių trajektoriją nustatančių įtaisų neleidžia tiesiogiai vizualiai pamatyti dalelės trajektoriją. Priešingai, jie formuoja mažus elektrinius signalus, kuriuos užregistruoja kompiuteris.

Miuonų kameros yra miuonų trajektorijos nustatymo įtaisai. Miuonų sąveika su medžiaga yra labai trumpa, todėl jie gali prareiti pro storą medžiagos sluoksnį. Dėl tos priežasties miuonai lengvai praeina pro nuosekliai išdėstytus detektorius. Dažniausiai miuonų kameros yra įtaisytos detektorių išorėje.

Kalorimetrai gali būti elektromagnetiniai ir hadroniniai. Elektromagnetiniai kalorimetrai matuoja lengvų dalelių – elektronų ir fotonų – energiją tuo metu, kai jie sąveikauja su medžiagoje esančiomis elektringomis dalelėmis.

Hadroniniai kalorimetrai tiria hadronų energiją (protonus ir neutronus), kai jie sąveikauja su atomo branduoliu. Kalorimetrai sustabdo daugumą, išskyrus miuonus ir neutrinus, žinomų dalelių (Berners-Lee *et al.* 2005).

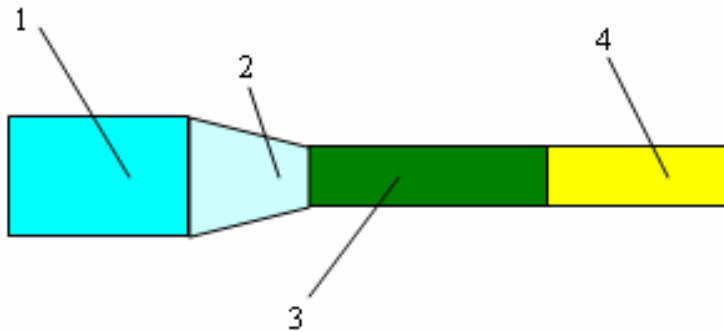
Gama spinduliuotei matuoti naudojami trijų tipų jutikliai – dujiniai, puslaidininkiniai ir scintiliaciniai. Naudojant dujinius jutiklius, registracijos efektyvumas yra mažas ir nedidelė skiriamoji geba, todėl jie šiandien naudojami retai. Scintiliacinių jutiklių naudojimą gama spektrometrijoje nulemia jų aukštesnė skiriamoji geba, kuri tėra nuo kelių iki keliolikos procentų, ir scintiliatoriaus tūris. Būtent scintiliaciniai jutikliai naudojami mažo gama aktyvumo šaltiniams tirti (Theodórsson 1996; Karagiorgi *et al.* 2003).

Scintiliaciniame jutiklyje išnaudojama tam tikrų medžiagų savybė formuoti trumpą šviesos blyksnį, kai gama kvantas arba kita aukštos energijos dalelė pataiko į kristalo gardelės mazgą. Tokius šviesos blyksnius galima stebėti net plika akimi. Į švytėjimą atitinkamai reaguoja fotoelektrinis daugintuvas. Blyksnių kiekis ir jų intensyvumas priklauso nuo gama spinduliuotės energijos (Беpecнев *и др.* 1988). Blyksniai, transformuoti į elektrinius impulsus, pasirinktais laiko intervalais išskirstomi pagal energijas į atskirus kanalus ir suskaičiuojami.

Pagrindiniai puslaidininkinių jutiklių trūkumai – ilgas matavimo laikas, maža gaunamo signalo srovė, trumpas tarnavimo laikas. Be to, jie negali dirbti esant aukštai temperatūrai.

Dėl to KKSS matavimams naudoti puslaidininkinius jutiklius yra sudėtinga. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto spektro tyrimams naudojamas

$\gamma$ -spektrometrinis įrenginys su scintiliaciniu NaI(Tl) jutikliu. Tai yra įrenginys, paverčiantis sugertą gama kvantą į elektros srovės impulsą. Impulso stipris priklauso nuo gama kvanto energijos.



**1.10 pav.** Scintiliacinio jutiklio schema: 1 – scintiliuojanti medžiaga; 2 – šviesolaidis; 3 – fotodaugintuvas; 4 – maitinimo šaltinis (Karagiorgi *et al.* 2003)

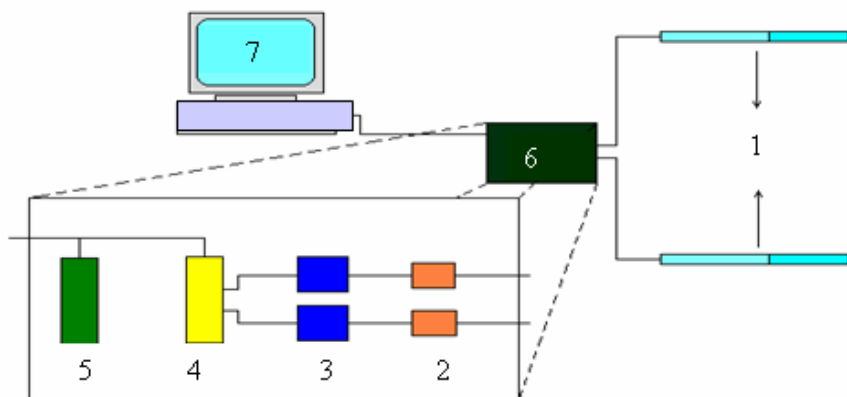
**Fig. 1.10.** Schematic diagram of scintillator: 1 – scintillation material; 2 – light guide (fiber); 3 – photomultiplier; 4 – voltage divider network (Karagiorgi *et al.* 2003)

Floridos universiteto mokslininkai (JAV) miuonų stebėjimams vykdyti taip pat naudoja scintiliacinius jutiklius (Karagiorgi *et al.* 2003). Tokio jutiklio blokinė schema pavaizduota 1.10 paveiksle.

Miuonų srauto stebėjimų įrangos blokinė schema pateikta 1.11 paveiksle.

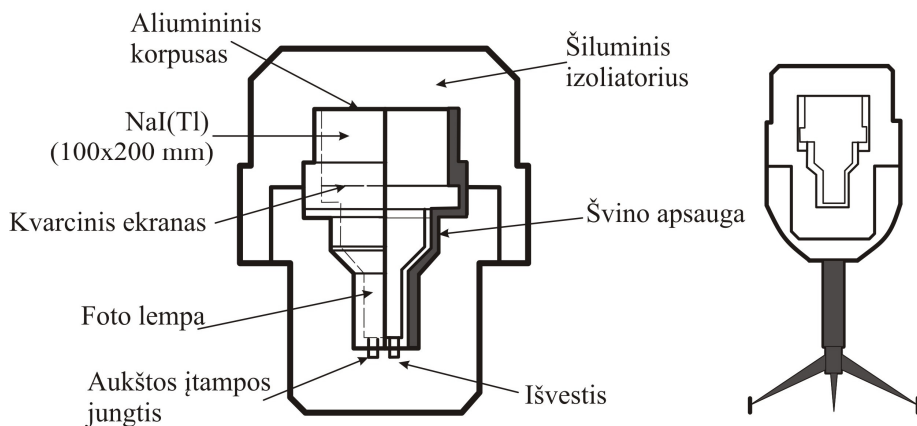
Miuonas sukelia šviesos blyksnius scintiliacinėse panelėse, kuris scintiliaciniame jutiklyje paverčiamas elektriniu signalu. Šis signalas patenka į impulsų stiprintuvą (2) ir apdorojamas impulsų diskriminatoriuje (3). Antisutapimų įrenginys (4) fiksuoja, ar tuo pačiu metu signalas atėjo iš abiejų scintiliacinių panelių. Jei laiko skirtumas tarp signalų iš abiejų panelių mažesnis nei 160 ns, impulsų skaitiklis (5) suskaičiuoja vieną impulsą. Duomenys įrašomi į kompiuterio (7) atmintį ir toliau apdorojami. Impulsų stiprintuvas (2), impulsų diskriminatorius (3), antisutapimų įrenginys (4) ir skaitliukas (5) sudaro skaitmeninį impulsų skaičiavimo bloką (6).

Ši įranga leidžia eliminuoti jonizuojančiosios spinduliuotės triukšmus pažemėje bei atlikti ilgalaikius miuonų srauto stebėjimus. Į kompiuterio atmintį įrašyti duomenys palengvina monitoringo rezultatų apdorojimą. Šiuo įrenginiu negalima stebėti miuonų srauto energinio spektro (Karagiorgi *et al.* 2003).



**1.11 pav.** Blokinė miuonų srauto matuoklio schema: 1 – scintiliacinis jutiklis; 2 – impulsų stiprintuvas; 3 – impulsų diskriminatorius; 4 – antisutapimų įrenginys; 5 – skaitiklis; 6 – skaitmeninis impulsų skaičiavimo blokas; 7 – kompiuteris (Karagiorgi *et al.* 2003)

**Fig. 1.11.** The block scheme of moun flux meter: 1 – scintillation paddles; 2 – pulse amplifiers; 3 – pulse discriminators; 4 – fast coincidence unit; 5 – counter; 6 – digital pulse calculation block; 7 – computer (Karagiorgi *et al.* 2003)



**1.12 pav.** Kosminių spindulių stebėjimo įrangos aukštuose atmosferos sluoksniuose jutiklio schema (Brunetti *et al.* 1999)

**Fig. 1.12.** Drawing of the detector used at high atmosphere latitudes (Brunetti *et al.* 1999)

Pagrindiniai NaI(Tl) jutiklio privalumai yra šie: 1) gama radiacijos matavimo efektyvumas yra didelis dėl jodo atomo didelio numerio ( $Z=53$ ) periodinėje

elementų lentelėje; 2) NaI(Tl) kristalas gali būti įvairaus dydžio ir formos; 3) lengvai eksploatuojami. Tačiau šie jutikliai turi ir trūkumų: 1) gama kvantų spektro pikai yra 40 kartų platesni nei germanio diodų ir 2) jutiklio elementai yra užteršti radioaktyviomis medžiagomis. NaI(Tl) scintiliaciniai jutikliai dėl jame esančių radioaktyvių medžiagų priemaišų turi gerokai aukštą bendrąjį foną, o dėl to sumažėja skiriamoji geba (Theodórsson 1996).

Italų mokslininkai kosminių spindulių srautui stebėti virš jūros aukštuose atmosferos sluoksniuose naudoja matavimo įrangą su scintiliaciniu jutikliu (1.12 pav.) (Brunetti *et al.* 1999; Cattani *et al.* 2001; Cattani *et al.* 2003).

Jutiklio pagrindą sudaro NaI(Tl) monokristalas, kurio matmenys yra 100 x 200 mm. Kristalas ir foto lempa yra apsaugoti 2 cm švino, 0,1 cm vario ir 0,3 cm aliuminio sluoksniais. Aplink monokristalą yra žiedo formos plastinis vamzdis, pripildytas 85 g kalio šarmo (KOH), siekiant patikslinti  $^{40}\text{K}$  smailės padėtį. Jutiklis gali užfiksuoti nuo 1 iki 2 milijonų impulsų per minutę, ir tokia duomenų registracija yra pakankamai patikima (Brunetti *et al.* 1999).

## 1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Geomagnetiniai lauko pokyčiai veikia pirminės kosminės spinduliuotės srautą. Kosminei spinduliuotei būdinga sezoninė ir paros variacija atsirandanti dėl atmosferos struktūros kitimo: Saulės aktyvumui didėjant, didėja aukštųjų atmosferos sluoksnių jonizacija, dėl to cikloninių darinių dažnėja.
2. Pirminių kosminės spinduliuotės protonų tyrimai yra sudėtingi ir brangūs. Šių dalelių kiekio variacijos negali išsamiai apibūdinti geomagnetinio lauko pokyčių. Dėl šių priežasčių miuonams stebėti naudojami scintiliaciniai jutikliai dėl savo techninių parametrų ir paprastų eksploatacijos sąlygų. Be to, miuonų srauto variacijos atspindi geomagnetinio lauko pokyčius.
3. Atlikus literatūros apžvalgos analizę pastebėta, kad tarp kosminės spinduliuotės bei neutronų srautų pokyčių ir žmogaus organizmo reakcijos yra tiesioginė koreliacinė priklausomybė. Be to, nagrinėtas ryšys tarp kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio pokyčių 0,3–0,5 MeV energijų diapazone.
4. Atlikus literatūros apžvalgos analizę nerasta informacijos, kuri būtų pagrįsta ilgalaikiais matavimais ir dideliu duomenų kiekiu, nustatant priklausomybę tarp kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio kaitos ties žemės paviršiumi bei prognozuojant meteorologinius reiškinius.



---

## Kietosios kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio tyrimų metodika

Antrame disertacijos skyriuje pateiktas kietosios kosminės spinduliuotės matavimo metodas bei aprašyta aparatūra, pateikta atmosferos slėgio matavimo metodika. Šiame skyriuje pateikta atmosferos slėgio pokyčių prognozei pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas naudojama metodika. Aprašytas vienos valandos intervalo pagrindimas prognozei tarp nagrinėjamų dydžių.

Kietosios kosminės spinduliuotės srautui matuoti taikomas gama scintiliacinis metodas. Kosminei spinduliuotei matuoti naudojamas gama spektrometras su NaI(Tl) jutikliu, dėl jo didelio konversijos koeficiento.

Skyriaus tematika paskelbti du autorės straipsniai: Styra *et al.* 2008, Styra *et al.* 2009.

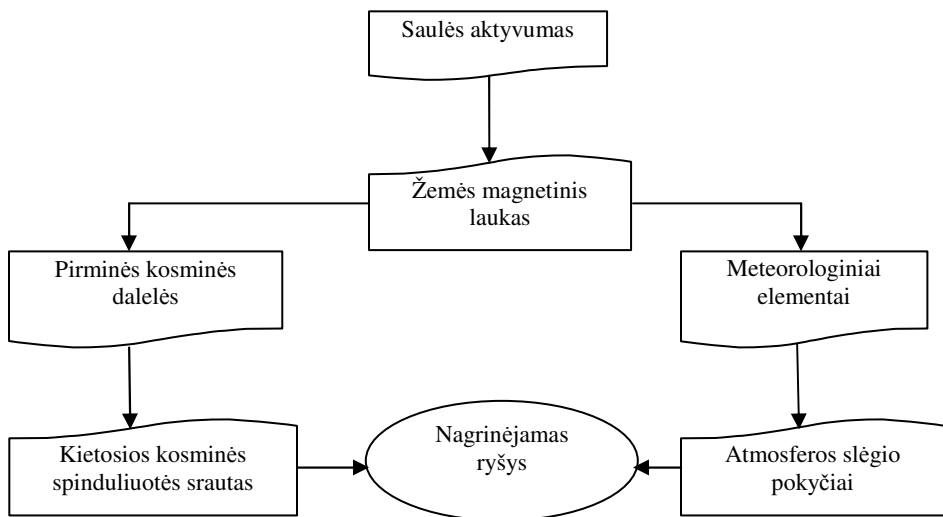
### 2.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo metodas

Kosminę jonizuojančiąją spinduliuotę sudaro kosminės spinduliuotės minkštoji ir kietoji komponentė. Eksperimentinių tyrimų tikslas – ištirti kosminės spinduliuotės kietosios komponentės srautą ir jos pokyčius. Kietąją komponentę formuoja aukštųjų energijų gama kvantai ir miunonai.

Radioaktyviųjų elementų aktyvumui ir jų kiekiui nustatyti atmosferoje, dirvoje ar vandenyje naudojami radiometrijos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ir gama ( $\gamma$ ) metodai. Šiame darbe visi eksperimentiniai tyrimai atliekami naudojant gama spektrometrijos būdą.

Pagal spinduliuotės aktyvumo registravimo būdą matavimo metodai skirstomi į jonizacinius, impulsinius ir radiografinius. Jonizaciniai metodai naudojami matuojant bendrąją spinduliuotės aktyvumą. Impulsiniai metodai – skaičiuojant alfa ir beta daleles bei gama kvantus.

Nagrinėjamo kietosios kosminės spinduliuotės srauto poveikio atmosferos slėgio pokyčių prognozei schema pavaizduota 2.1 paveiksle.



**2.1 pav.** Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio pokyčių sąryšio schema

**Fig. 2.1.** Scheme of relationship between hard cosmic ray flux and atmopshere pressure changes

Gamtinių veiksnių poveikio atmosferos slėgio pokyčiams netiesioginis įvertinimas atliktas pagal pateiktą schemą (2.1 pav.).

## 2.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto matavimo aparatūra

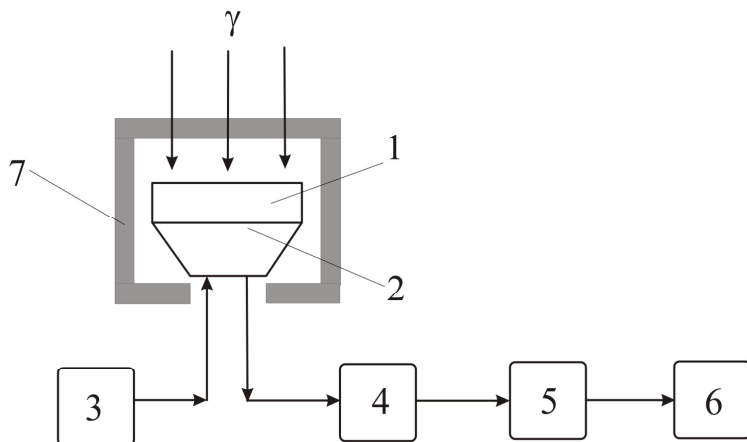
Kietosios kosminės spinduliuotės srautui (KKSS) matuoti naudotas gama spektrometras veikia scintiliacinio-fotoelektrinio skaitiklio principu. Pagrindiniai ga-

ma spektrometro elementai – jutiklis ir fotoelektrinis daugintuvas – sumontuoti specialiaame plieniniame padengtame keliais švino sluoksniais korpuse vadina-  
mame „namelyje“. Jautrų matavimo įrangos elementą sudaro scintiliacinis  
63 x 63 mm NaI(Tl) kristalo jutiklis bei fotoelektrinis daugintuvas.

Fotoelektrinis daugintuvas tiesiogiai prie jutiklio sumontuotas taip, kad jo  
matymo kampas apimtų visą jutiklio galinio paviršiaus plotą, t. y. fiksuotą mak-  
simalų impulsų kiekį.

Kosminės dalelės, prasiskverbusios per apsauginį švino sluoksnį, patenka į  
scintiliacinį NaI(Tl) kristalą (1). Kristale jos sukelia trumpus šviesos mikro-  
blyksnius, kurių intensyvumas priklauso nuo dalelių energijos. Toliau signalas  
patenka į fotoelektrinį daugintuvą (2), kuriame šviesos impulsas paverčiamas  
elektros signalu. Fotoelektrinis daugintuvas (2) formuoja elektros impulsus, ku-  
rių intensyvumas taip pat priklauso nuo krintančių dalelių energijos.

Blokinė matavimo įrangos schema parodyta 2.2 paveiksle.



**2.2 pav.** Blokinė KKSS matuoklio schema: 1 – NaI(Tl) scintiliacinis jutiklis;

2 – fotoelektrinis daugintuvas; 3 – aukštos įtampos šaltinis; 4 – linijinis  
stiprintuvas; 5 – impulsų analizatorius; 6 – kompiuteris; 7 – apsauginiai švino  
sluoksniai

**Fig. 2.2.** Block scheme of HCRF meter: 1 – NaI(Tl) scintillation sensor;  
2 – photoelectric multiplier; 3 – high voltage source; 4 – linear amplifier; 5 – pulse  
analyzer; 6 – computer; 7 – protective layers of lead

NaI(Tl) kristalas (1) ir fotoelektrinis daugintuvas (2) sudaro vientisą įrengi-  
nį – scintiliacinį bloką. Į fotoelektrinį daugintuvą iš aukštos įtampos šaltinio blo-  
ko (3) tiekama 1,2 kV maitinimo įtampa.

Toliau signalas patenka į linijinį stiprintuvą (4), iš kurio, sustiprintas iki rei-  
kiamo lygio, signalas patenka į impulsų analizatorių (5). Jame išskiriami impul-

sai, turintys informaciją apie visų matuotų tam tikros energijos dalelių kieki per nustatytą matavimo laiką. Impulsų keitiklis – stiprintuvas (4) ir impulsų analizatorius (5) sumontuoti vienoje integrinėje plokštėje kompiuteryje (6).

Ši įranga matuoja gama kvantų ir miuonų bei šių dalelių po Komptono sklaidos švino sluoksniuose ir jutiklyje energijų spektrą.

Norint atskirti KKSS nuo kitų bendrojo radioaktyvaus fono komponentų, buvo pasirinktas minimalus švino ekrano storis, kuris nepraleidžia žemųjų energijų gama kvantus. Optimalus švino ekrano storis yra 9 cm, kadangi didesni švino ekrano storį nėra prasmės naudoti, nes žemųjų energijų dalelių kiekis beveik nekinta.

Atliekant KKSS matavimus pasirinktos matuojamų dalelių energinio diapazono ribos. Laiko atžvilgiu galima pasirinkti vieną iš dviejų prietaiso darbo režimų. Nustačius atitinkamus kompiuterinės valdymo programos parametrus, galima skaičiuoti impulsus nustatytais laiko intervalais arba nepertraukiamu prietaiso darbo režimu. Prietaiso matavimo paklaida sudaro 5 % (Беpec-HeB u òп. 1988; Karagiorgi *et al.* 2003).

## 2.3. Atmosferos slėgio matavimas ir duomenų kaupimas

Pažemio meteorologiniai stebėjimai nustato meteorologinius elementus, apibūdinančius fizinių procesų būklę ir vystymąsi atmosferoje veikiant žemės paviršiumi, nustato meteorologinius reiškinius ir jų pagrindines charakteristikas (trukmę, intensyvumą, pavojingumą). Pažemio meteorologiniai stebėjimai atliekami vidutiniu Grinvičo laiku (VGL) 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21. Pagrindiniai stebėjimo terminai yra 00, 06, 12, 18 val. ir vadinami pagrindiniais sinoptiniais terminais. Kiti yra tarpiniai. Atmosferos reiškiniai, jų atsiradimo, vystymosi, išnykimo laikas, intensyvumas stebima nuolat, nenutrūkstamai (Galvonaitė *ir kt.* 2007).

Remiantis meteorologinių stebėjimų nuostatais, meteorologijos stotyse nustatomos tokios atmosferos slėgio charakteristikos:

1. Atmosferos slėgis stoties lygyje.
2. Atmosferos slėgis jūros lygyje.
3. Barometrinės tendencijos dydis.
4. Barometrinės tendencijos pobūdis.

Slėgis stoties lygyje – tai jėga, kuri slegia atitinkamą vakuuminio elemento ploto vienetą. Slėgis jūros lygyje apskaičiuojamas remiantis slėgiu stoties lygyje, oro temperatūra ir drėgnumu.

Barometrinės tendencijos dydis – skirtumas tarp atmosferos slėgio stoties lygyje, išmatuoto dabar ir prieš tris (dvi, viena) valandas. Barometrinės tendencijos pobūdis nustatomas pagal barografo kreivę (kritimas, augimas ir t. t.).

Atmosferos slėgis matuojamas puodeliniu gyvsidabrinio barometru ir savaitiniu meteorologiniu barografu. Barometras ir barografas įrengiami meteorologijos stotyje (Brock *et al.* 2001).

Pagal Pasaulinės Meteorologijos Organizacijos nuostatus prietaisai turi būti patikrinti, turėti patvirtintą pastoviąją pataisą. Barometrą perkelti, keisti gali tik specialistas meteorologas. Atmosferos slėgiui stoties lygyje nustatyti įskaičiuojama pastovioji barometro pataisa ir 0 °C temperatūros pataisa. Termometrui prie barometro įskaičiuojama sertifikato pataisa. Atmosferos slėgis stoties lygyje gaunamas sudėjus išmatuotą jo reikšmę, pastoviąją ir 0 °C temperatūros pataisas.

Perskaičiuojant slėgį jūros lygiui nustatoma naudojantis lentelėmis, apskaičiuojant kiekvienai stočiai, atsižvelgiant į aukštį virš jūros lygio ir virtualinę oro temperatūrą.

Darbe yra išanalizuoti 2002–2008 metų atmosferos slėgio duomenys, kurie buvo paimti iš Lietuvos Hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos archyvo.

Kadangi atmosferos slėgis buvo matuojamas kas 6 valandas, buvo gautas didelis duomenų kiekis. Šiam duomenų kiekiui apdoroti buvo sudaryta duomenų bazė. Pirmiausia atmosferos slėgio matavimo duomenys buvo įvesti į kompiuterį ir apdoroti kompiuterine programa Excel.

Atmosferos slėgio matavimų duomenų bazę sudaro trys duomenų masyvai:

1. Kiekvienos valandos atmosferos slėgio reikšmės;
2. Kiekvienos paros atmosferos slėgio valandos vidurkiai;
3. Kiekvieno mėnesio atmosferos slėgio valandos vidurkiai.

Pagrindiniai kriterijai, dėl kurių duomenų bazės kūrimui buvo pasirinkta Excel kompiuterinė programa:

1. Galimybė kurti pageidaujamo dydžio duomenų masyvus;
2. Nereikalinga itin galinga kompiuterinė įranga;
3. Paprastumas ir patogumas naudoti;
4. Galimybė kaupti ir toliau apdoroti duomenis.

Atmosferos slėgio prognozei pagal KKSS variacijas buvo naudojami Vokietijos meteorologijos stoties sudaryti sinoptiniai žemėlapiai 00, 06, 12, 18 VGL valandoms.

## 2.4. Orų prognozei naudojami metodai

Siekiant prognozuoti orus konkrečiai vietai, būtina naudoti naujausius mokslo ir technologijų pasiekimus. Orų prognozė yra būtina siekiant apsaugoti gyvybę ir aplinką. Orams prognozuoti naudojami įvairūs metodai. Orų prognozės metodo parinkimas priklauso nuo meteorologo patirties, turimos informacijos kiekio, prognozuojamos situacijos sunkumo ir prognozės tikslumo bei patikimumo. Orų prognozė gali būti trumpalaikė, vidutinė ir ilgalaikė (Barry, Carleton 2001; Barry, Chorley 2003; Linacre, Geerts 2003; Ahrens 2008).

Orams prognozuoti naudojami tokie metodai.

**Labai trumpos trukmės orų prognozė taikoma** esant pastoviai atmosferos stratifikacijai. Šis metodas taikomas kai atmosferos procesai vyksta ilgiau nei prognozės periodas. Taikant šį metodą galima prognozuoti kritulių kiekį, iškrentantį lietaus sezono metu, pvz., Pietų Amerikoje, arba temperatūros pokyčius sausros sezono metu (Palmer, Hagedorn 2006).

**Statistiniai orų prognozės metodai.** Statistiniai metodai reikalingi, kadangi atmosfera yra netiesinė dinaminė sistema. Įvairūs statistiniai metodai leidžia aprašyti labiausiai tikėtinus orų pokyčius bei apskaičiuoti galimų rezultatų tikimybę. Meteorologinių stočių duomenims apdoroti naudojamos statistikos programos. Skirtingoms oro sąlygoms prognozuoti galima pritaikyti įvairias lygtis ir formules, pvz., paprastosios ir daugiavarės regresijos tiesės lygtis, dispersijos formulę. Tačiau taikant matematinės statistikos lygtis reikia įvertinti šalutinius poveikius (Barry, Carleton 2001; Barry, Chorley 2003).

Statistiniai metodai naudojami ilgalaikiai orų prognozei.

**Sinoptinis orų prognozės metodas.** XIX amžiuje atsiradus galimybei kaupti ir tvarkyti informaciją apie orus, pradėta braižyti sinoptinius žemėlapius. (Palmer, Hagedorn 2006). Sinoptiniai žemėlapiai iliustruoja atmosferos darinių – ciklonų, anticiklonų, oro masių ir jas skiriančių frontų – judėjimą ir evoliuciją. Sinoptiniame žemėlapyje galima pamatyti atmosferos slėgio reikšmę ir jos kitimo tendenciją, vėjo greitį ir kryptį, temperatūrą, debesuotumą ir debesų rūšį, rasos taško duomenis bei esamo oro sąlygas. Žemėlapyje visa tai pateikiama skaičiais ir meteorologiniais simboliais. Sinoptiniai žemėlapiai atnaujinami kas šešias valandas pagal meteorologinės stoties užfiksuotus duomenis (Barry, Carleton 2001; Barry, Chorley 2003).

**Skaitmeniniai orų prognozės metodai.** Naudojant šiuos metodus, būtina asimiliuoti pradinis meteorologinės stoties duomenis. Tokiu būdu modeliuojant galima pritaikyti pagrindines hidrodinamikos ir termodinamikos lygtis. Dabartiniu metu naudojami įvairūs matematiniai modeliai, kurie taikomi temperatūrai, atmosferos slėgiui, vėjo greičiui ir kryptiai bei kritulių kiekiui prognozuoti.

Skaitmeninių orų prognozės metodų, modeliuojant atmosferą, patikimumas lieka nedidelis. Dėl to orų prognozė gali būti netiksli, ypač jei prognozei skirti pradiniai duomenys gauti iš kalnuotų vietovių.

Prognozavimo metodai ir toliau tobulinami. Rengiant orų prognozes, atsižvelgiama ir į vandenynų bangavimą, nes nuo jo taip pat priklauso orų raida. Ateityje orų prognozių tikslumo bus siekiama taikant ne vieną, o kelis metodus – kiekvienas jų leis geriau atskleisti skirtingus atmosferos fizikos aspektus.

Dabartinės orų prognozės rengiamos naudojant įvairiuose Žemės rutulio vietose esančių meteorologinių stočių duomenis. Iš jų sudaromas vienas bendras modelis. Skaičiavimus, naudojant visas galimas fiziniams atmosferos mechanizmams įvertinti formules, atlieka keli pasaulyje galingi kompiuteriai. Taip palaipsniui priartėjama prie moksliskai pagrįstos tikimybės (Linacre, Geerts 2003).

Orų prognozės tapo gerokai patikimesmės pasitelkus duomenis, gautus iš palydovų, naudojant naujausius matematinius metodus, tačiau atmosferoje vykstantys atsitiktiniai reiškiniai vis tiek neleidžia padidinti prognozės efektyvumą.

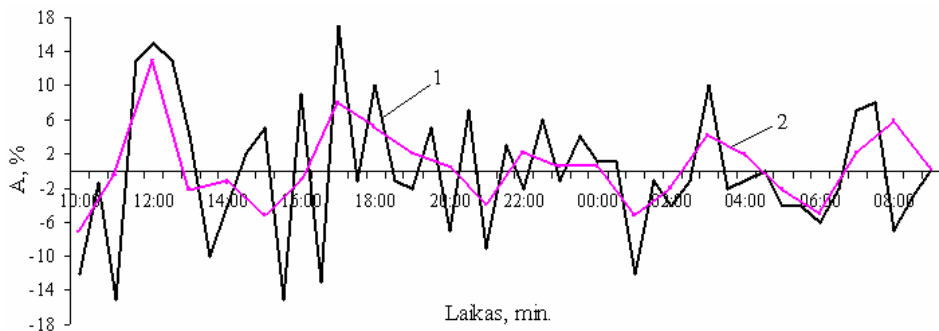
Kosminės spinduliuotės variacijų ties žemės paviršiumi analizės duomenis galima naudoti tiriant netiesioginį kosminės spinduliuotės srauto poveikį atmosferos slėgiui prognozuoti.

## **2.5. Kietosios kosminės spinduliuotės variacijų atmosferos slėgio pokyčiams prognozuoti metodika**

Gama spektrometras nepertraukiamai registruoja gama kvantus ir miuonus, patekusius į prietaiso jutiklį, kas 15 minučių. Atmosferos slėgio pokyčių prognozei pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto (KKSS) variacijas buvo atlikti tyrimai optimaliam laiko intervalui nustatyti. Optimalus laiko intervalas – tai toks intervalas, kurį naudojant gaunamas didelis efektyvumas prognozuojant atmosferos slėgio pokyčius pagal KKSS. Tam tikslui gauti duomenys buvo susumuoti iki trisdešimties, šešiasdešimties, devyniasdešimt bei šimtas dvidešimt minučių.

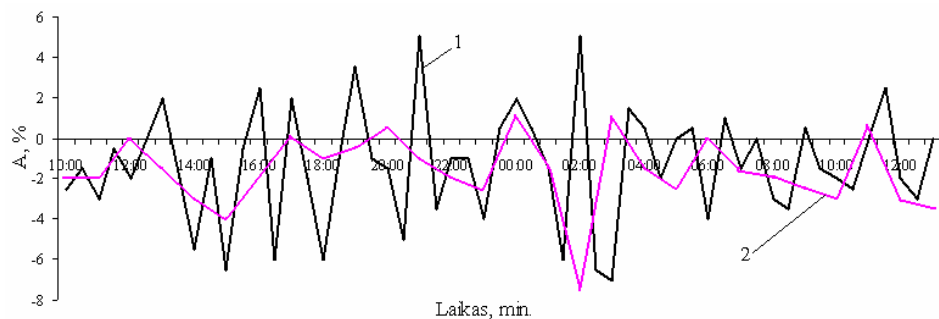
Gama spektrometru buvo tiriama KKSS fono eiga įvairiuose laiko intervaluose. Gautų rezultatų pavyzdžiai pateikiami 2.3–2.5 paveiksluose.

Šiuose paveiksluose KKSS variacijas vaizduoja santykinės amplitudės (%). Rezultatų analizė parodė, kad didėjant KKSS suvidurkinimo laiko intervalui, santykinės amplitudės mažėja. Esant įvairiems laiko trukmės intervalams, stebimos skirtingos kreivių eigos. Jų eigos panašumas prasideda nuo valandinio laiko intervalo (2.3–2.5 pav.). Paveiksluose matoma, kad santykinų amplitudžių vertės kinta 5–6% intervale.



**2.3 pav.** Gama spektrometro užfiksuotos fono santykinės amplitudės trisdešimt (1) ir šešiasdešimt (2) minučių laiko intervaluose 2005 m. vasario 21–22 d.

**Fig. 2.3.** Gamma spectrometer background in the relative amplitudes of thirty (1) and sixty (2) minutes time intervals on 21–22 February 2005

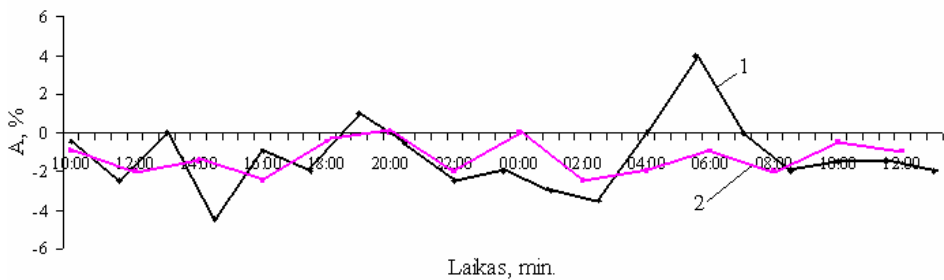


**2.4 pav.** Gama spektrometro užfiksuotos fono santykinės amplitudės trisdešimt (1) ir šešiasdešimt (2) minučių laiko intervaluose 2006 m. lapkričio 15–16 d.

**Fig. 2.4.** Gamma spectrometer background in the relative amplitudes of ninety (1) and one hundred and twenty (2) minutes time intervals on 15–16 November 2006

Šiais atvejais KKSS eiga 1,2–1,6 MeV energijų diapazone, esant atitinkamam kriterijui valandiniuose laiko intervaluose, prognozuoja atmosferos slėgio pokyčius po kelių parų (Styra *et al.* 2008).

Nustatyta, kad iš gautų duomenų tiksliausias ryšio rezultatas gaunamas, naudojant KKSS valandinį prognostinį intervalą. Pagal KKSS eigą šiame laiko intervale galima prognozuoti minimalų bei maksimalų atmosferos slėgio formavimą stebėjimo stotyje vienos paros tikslumu.



**2.5 pav.** Gama spektrometro užfiksuotos fono santykinės amplitudės devyniasdešimt (1) ir šimtas dvidešimt (2) minučių laiko intervaluose 2006 m. lapkričio 15–16 d.

**Fig. 2.5.** Gamma spectrometer background in the relative amplitudes of ninety (1) and one hundred and twenty (2) minutes time intervals on 15–16 November 2006

2.5 paveikslo duomenų analizė parodė, kad naudojant šiai prognozei ilgesnio pusantros ir dviejų valandų KKSS laiko intervalus, prarandamas minimalaus slėgio atsiradimo prognozės tikslumas. Pats efektas egzistuoja, bet sunku įvertinti atmosferos slėgio ekstremalios vertės pasirodymą ar po 3, ar po 4 parų ir t. t. Tokiu būdu pagal KKSS variacijas, naudojant minėtus laiko intervalus, prognozės tikslumas sudaro dvi paras.

Rezultatų analizė parodė, kad prognozuojant atmosferos slėgio pokyčius pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas optimaliausias laiko intervalas yra vienos valandos intervalas. Tam tikslui būtina parinkti optimalius kietosios kosminės spinduliuotės srauto empirinius kriterijus, kurie leis atlikti atmosferos slėgio pokyčių prognozę.

Darbuose (Стыро 1983; Стыро, Богданович 1991; Стыро 1991) nustatyta, kad atmosferos slėgio kitimą labiausiai nulemia KKSS variacijos 8–13 valandomis. Todėl buvo analizuojami KKSS pokyčiai tomis valandomis ir valandinių KKSS reikšmių mažėjimai tirti keturiuose laiko intervaluose: 8–9 h; 9–10 h; 11–12 h; 12–13 h.

Be to, nustatyta (Стыро 1983; Стыро, Богданович 1991; Стыро 1991), kad KKSS pokyčiai nuo 8–9 h nulemia atmosferos slėgio mažėjimus po trijų parų Vilniuje. Laiko intervale 9–10 h KKSS variacijos panaudotos slėgio prognozei po keturių parų. Pagal KKSS reikšmių sumažėjimus nuo 11–12 h galima prognozuoti slėgio mažėjimus po penkių parų. Laiko intervale 12–13 h KKSS variacijos panaudotos slėgio prognozei po šešių parų.

Atmosferos slėgio sumažėjimų pagal kietosios kosminės spinduliuotės srautą prognozei atlikti 1,2–1,6 MeV energijų diapazone rasti KKSS empiriniai kriterijai. Šiame darbe empiriniais kriterijais laikomi dviejų gretimų parų KKSS reikšmių sumažėjimas daugiau nei 15 imp./h, 20 imp./h bei 25 imp./h. Atmosfe-

ros slėgio kriterijumi buvo laikomas dviejų gretimų parų mažėjimas daugiau nei 4 hPa. Tokio dydžio kriterijus buvo pasirinktas, kadangi žiemos–rudens bei pavasario–vasaros sezonais atmosferos slėgio pokyčių vertė duoda tokį patį efektą.

Atmosferos slėgio padidėjimų pagal kietosios kosminės spinduliuotės srautą prognozei atlikti būtina naudoti kitus laiko intervalus bei KKSS kriterijus. Aukščiau minėti laiko intervalai neprognozuoja atmosferos slėgio padidėjimus. Tokiu būdu buvo pasirinkti KKSS padidėjimai 14–19 h laiko intervaluose 1,2–1,6 MeV energijų diapazone. Pasirinktas laiko intervalas suskirstytas į penkis intervalus: 14–15 h, 15–16 h, 16–17 h, 17–18 h bei 18–19 h.

Atmosferos slėgio padidėjimų pagal kietosios kosminės spinduliuotės srautą prognozei buvo rasti kiti KKSS empiriniai kriterijai. Šiuo atveju KKSS kriterijus buvo laikomas dviejų gretimų parų KKSS reikšmių padidėjimas daugiau nei 15 imp./h, o suminė reikšmė skirtinguose laiko intervaluose turi viršyti 40 imp./h bei 50 imp./h.

## 2.6. Antrojo skyriaus išvados

1. Nustatyta, kad atmosferos slėgio pokyčiams prognozuoti pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas reikia taikyti srauto kitimo rezultatus valandiniuose laiko intervaluose.
2. Atmosferos slėgio sumažėjimams pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas prognozuoti siūloma naudoti tris kriterijus: kietosios kosminės spinduliuotės srauto mažėjimas tarp gretimų parų  $-15$  imp./h,  $-20$  imp./h ir  $-25$  imp./h.
3. Atmosferos slėgio padidėjimams pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas prognozuoti siūloma naudoti du kriterijus: kietosios kosminės spinduliuotės srauto didėjimas 40 imp./h ir 50 imp./h.

---

## Kietosios kosminės spinduliuotės srauto bei atmosferos slėgio tyrimų rezultatai ir analizė

Šiame skyriuje nagrinėjama kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio statistinė analizė. Aprašomosios statistikos pagrindu atliktas pirminis kiekybinis duomenų apdorojimas. Aprašomoji duomenų statistika neleidžia atlikti detalesnės eksperimentinių duomenų analizės, todėl buvo pasirinkti koreliacijos ir regresijos metodai. Šiame skyriuje pateikta detali kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių koreliacinė bei regresinė analizė. Pateikti nagrinėjamų dydžių koreliacijos koeficientai ir koreliaciniai santykiai bei jų pasikliautiniai intervalai.

Šiame disertacijos skyriuje pateikta kietosios kosminės spinduliuotės ties žemės paviršiumi tyrimų analizė. Pateikta kietosios kosminės spinduliuotės metinė eiga 1,2–1,6 MeV energijų diapazone. Šiame skyriuje pateikta atmosferos slėgio sumažėjimų ir padidėjimų prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės variacijas rezultatų analizė.

Skyriaus tematika paskelbti 6 autorės straipsniai: Damauskaitė 2007; Styra *et al.* 2007; Styra *et al.* 2008a; Styra *et al.* 2008b; Styra *et al.* 2008; Styra *et al.* 2010.

### 3.1. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio duomenų aprašomosios statistikos analizė

Bibliografinės apžvalgos analizė rodo, kad geomagnetinio lauko svyravimai bei atmosferos procesai lemia antrinės kosminės spinduliuotės srauto nestabilumą ties žemės paviršiumi ir gali būti pakankamai patikimai tiriami ir įrodomi tik pasitelkus statistinius kiekybinius tyrimo metodus. Todėl itin svarbi yra nagrinėjama kietosios kosminės spinduliuotės srauto (KKSS) ir atmosferos slėgio statistinė analizė.

KKSS matavimai atlikti pagal metodiką, aprašytą 2.1 skyriuje. Tyrimams panaudoti 2002–2008 m. KKSS matavimų duomenys. Statistinei analizei atlikti panaudota SPSS Statistics v.17.0 programa (Leonavičienė 2006).

Apskaičiuoti 2002–2008 metų KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių pagrindiniai statistiniai parametrai: vidurkiai, vidurkių paklaidos, aritmetinių vidurkių pasikliautinieji intervalai, esant 95 % tikimybei, vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai, asimetrijos koeficientas ir eksecas.

Asimetrijos koeficientas ir eksecas skaičiuoti pagal formules:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma_x^3}, \quad (3.1)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n\sigma_x^4} - 3, \quad (3.2)$$

čia:  $A$  – asimetrijos koeficientas;  $E$  – eksecas;  $n$  – matavimų skaičius;  $x_i$  –  $i$ -matavimo reikšmė;  $\bar{x}$  – visų matavimų reikšmių vidutinė vertė;  $\sigma_x$  – matavimo reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis (James 2006).

KKSS parų valandinių laiko intervalų vidurkių ir atmosferos slėgio reikšmių statistinės analizės rezultatai per 2002–2008 metų laikotarpį pateikti 3.1–3.3 lentelėse.

Svarbu žinoti, kaip plačiai yra pasklidusios reikšmės, kiek jos vidutiniškai nukrypsta nuo vidurkio. Tam tikslui buvo apskaičiuotas vidutinis kvadratinis nuokrypis. Jų rezultatai pateikiami 3.1–3.3 lentelėse. Skliaustuose nurodytos patikimumo lygmens ( $p$ ) reikšmės. Apskaičiuotos asimetrijos koeficiento ir eksecos KKSS ir atmosferos slėgio patikimumo lygmens reikšmės yra tokios pačios.

**3.1 lentelė.** Pagrindiniai KKSS statistinių parametų rezultatai per 2002–2008 metų laikotarpį

**Table 3.1.** The main statistical parameters of HCRF results for the time period 2002–2008

| Metai                                          |                   | KKSS, imp./h           |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                |                   | 2002                   | 2003                   | 2004                   | 2005                   | 2006                   | 2007                   | 2008                   |
| Vidurkis                                       |                   | 166,04<br>( $p=0,27$ ) | 163,05<br>( $p=0,29$ ) | 165,99<br>( $p=0,30$ ) | 165,52<br>( $p=0,30$ ) | 167,43<br>( $p=0,29$ ) | 168,75<br>( $p=0,29$ ) | 169,19<br>( $p=0,30$ ) |
| Vidurkio 95 %<br>pasikliautiniai<br>intervalai | Apatinė<br>riba   | 165,50                 | 162,48                 | 165,40                 | 164,92                 | 166,85                 | 168,19                 | 168,60                 |
|                                                | Viršutinė<br>riba | 166,58                 | 163,63                 | 166,58                 | 166,12                 | 168,00                 | 169,31                 | 169,79                 |
| Mediana                                        |                   | 165,50                 | 162,70                 | 165,93                 | 165,00                 | 167,46                 | 168,65                 | 169,00                 |
| Vidutinis kvadratinis<br>nuokrypis             |                   | 5                      | 6                      | 5                      | 6                      | 5                      | 5                      | 5                      |
| Minimali reikšmė                               |                   | 153                    | 147                    | 156                    | 151                    | 155                    | 156                    | 156                    |
| Maksimali reikšmė                              |                   | 182                    | 184                    | 184                    | 184                    | 182                    | 184                    | 186                    |
| Asimetrijos<br>koeficientas                    |                   | 0,45<br>( $p=0,13$ )   | 0,40<br>( $p=0,13$ )   | 0,38<br>( $p=0,15$ )   | 0,24<br>( $p=0,13$ )   | –0,01<br>( $p=0,14$ )  | 0,36<br>( $p=0,13$ )   | 0,57<br>( $p=0,14$ )   |
| Ekscesas                                       |                   | 0,03<br>( $p=0,26$ )   | 0,37<br>( $p=0,26$ )   | 0,31<br>( $p=0,29$ )   | 0,16<br>( $p=0,26$ )   | –0,56<br>( $p=0,28$ )  | –0,28<br>( $p=0,26$ )  | 0,56<br>( $p=0,28$ )   |

**3.2 lentelė.** Pagrindiniai KKSS ir atmosferos slėgio statistinių parametų rezultatai per 2002–2008 metų laikotarpį

**Table 3.2.** The main statistical parameters of HCRF and atmospheric pressure results for the time period 2002–2008

| Statistiniai parametrai                       |                | KKSS, imp./h        | Atmosferos slėgis,<br>hPa |
|-----------------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------------|
| Vidurkis                                      |                | 166,52 ( $p=0,12$ ) | 1015,36 ( $p=0,20$ )      |
| Vidurkio 95 % pasi-<br>kliautiniai intervalai | Apatinė riba   | 166,29              | 1014,97                   |
|                                               | Viršutinė riba | 166,75              | 1015,74                   |
| Mediana                                       |                | 166,00              | 1015,00                   |
| Vidutinis kvadratinis nuokrypis               |                | 6                   | 10                        |
| Minimali reikšmė                              |                | 147                 | 976                       |

**3.2 lentelės pabaiga.****The end of Table 3.2.**

| Statistiniai parametrai  | KKSS, imp./h      | Atmosferos slėgis, hPa |
|--------------------------|-------------------|------------------------|
| Maksimali reikšmė        | 186               | 1049                   |
| Asimetrijos koeficientas | 0,24 ( $p=0,05$ ) | -0,07 ( $p=0,05$ )     |
| Ekscesas                 | 0,10 ( $p=0,10$ ) | 0,63 ( $p=0,10$ )      |

**3.3 lentelė.** Pagrindiniai atmosferos slėgio statistinių parametrų rezultatai per 2002–2008 metų laikotarpį

**Table 3.3.** The main statistical parameters of atmospheric pressure results for the time period 2002–2008

| Metai                                               |                   | Atmosferos slėgis, hPa  |                         |                         |                         |                         |                         |                         |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                     |                   | 2002                    | 2003                    | 2004                    | 2005                    | 2006                    | 2007                    | 2008                    |
| Vidurkis                                            |                   | 1016,09<br>( $p=0,49$ ) | 1016,45<br>( $p=0,53$ ) | 1014,08<br>( $p=0,54$ ) | 1016,03<br>( $p=0,54$ ) | 1017,06<br>( $p=0,53$ ) | 1013,94<br>( $p=0,53$ ) | 1014,13<br>( $p=0,56$ ) |
| Vidurkio<br>95 % pasi-<br>kliautiniai<br>intervalai | Apatinė<br>riba   | 1015,13                 | 1015,42                 | 1013,01                 | 1014,98                 | 1016,01                 | 1012,89                 | 1013,04                 |
|                                                     | Viršutinė<br>riba | 1017,05                 | 1017,49                 | 1015,15                 | 1017,09                 | 1018,11                 | 1014,99                 | 1015,22                 |
| Mediana                                             |                   | 1016,05                 | 1016,10                 | 1014,17                 | 1016,17                 | 1016,30                 | 1013,60                 | 1014,00                 |
| Vidutinis kvadratinis<br>nuokrypis                  |                   | 9                       | 10                      | 9                       | 10                      | 9                       | 10                      | 10                      |
| Minimali reikšmė                                    |                   | 985                     | 983                     | 985                     | 980                     | 995                     | 976                     | 976                     |
| Maksimali reikšmė                                   |                   | 1041                    | 1044                    | 1039                    | 1046                    | 1049                    | 1040                    | 1047                    |
| Asimetrijos<br>koeficientas                         |                   | -0,11<br>( $p=0,13$ )   | 0,01<br>( $p=0,13$ )    | 0,11<br>( $p=0,15$ )    | -0,23<br>( $p=0,13$ )   | 0,40<br>( $p=0,14$ )    | -0,07<br>( $p=0,13$ )   | -0,09<br>( $p=0,14$ )   |
| Ekscesas                                            |                   | -0,16<br>( $p=0,26$ )   | 0,43<br>( $p=0,26$ )    | 0,40<br>( $p=0,29$ )    | 1,09<br>( $p=0,26$ )    | 0,12<br>( $p=0,28$ )    | 0,13<br>( $p=0,26$ )    | 1,54<br>( $p=0,28$ )    |

Iš 3.1 lentelės matoma, kad per nagrinėjamų metų laikotarpį, išskyrus 2006 metus, asimetrijos koeficientas yra didesnis už nulį, tai yra dešinioji asimetrija. Eksceso reikšmės kinta skirtingai. 2002–2005 metų eksceso reikšmės yra teigimos ir didesnės už nulį. Tačiau 2006 ir 2007 metais ekscesas yra neigiamas.

Pagal gautus duomenis galima spręsti, kad kietosios kosminės spinduliuotės duomenys artimi normaliajam skirstiniui. Atlikus kietosios kosminės spinduliuo-

tės septynerių metų duomenų statistinių parametų analizę, galima teigti, kad gauti rezultatai yra panašūs, kaip ir skaičiuojant atskirų metų (3.2 lentelė).

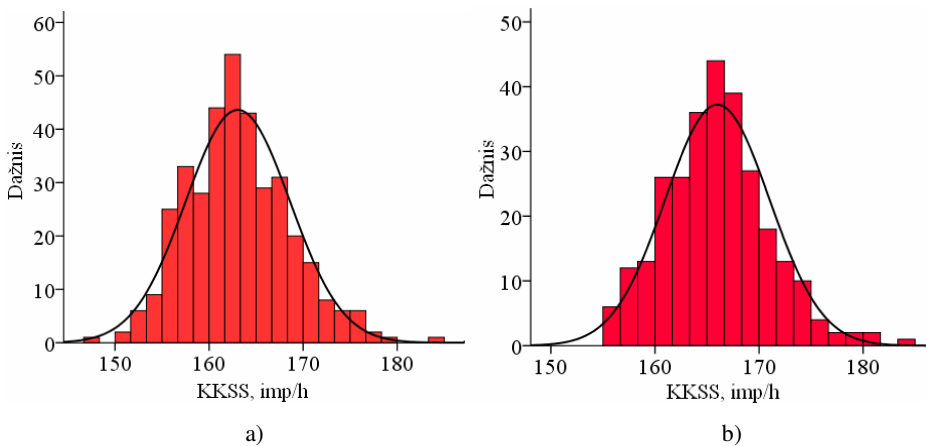
3.3 lentelėje pateikti atmosferos slėgio pagrindiniai statistiniai parametrai. Pagal gautus jų rezultatus, galima teigti, kad atmosferos slėgio duomenys artimi normaliajam (Gauso skirstiniui) dėsniiui. Lyginant su septynerių metų rezultatais, gauti duomenys praktiškai yra vienodi.

Atliktiems skaičiavimams įvertinti buvo sudarytos KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių dažnių histogramos 2002–2008 metais. Dažnių histogramų pavyzdžiai pateikiami 3.1 ir 3.2 paveiksluose.

Naudojant Kolmogorovo–Smirnov testą, skirtą skirstinio normalumui patikrinti, buvo palyginta, ar KKSS ir atmosferos slėgio skirstiniai yra normalūs, nes nuo gautų rezultatų priklauso, kokie analizės metodai – parametriniai ar neparametriniai – bus taikomi (James 2006; Roe 2001).

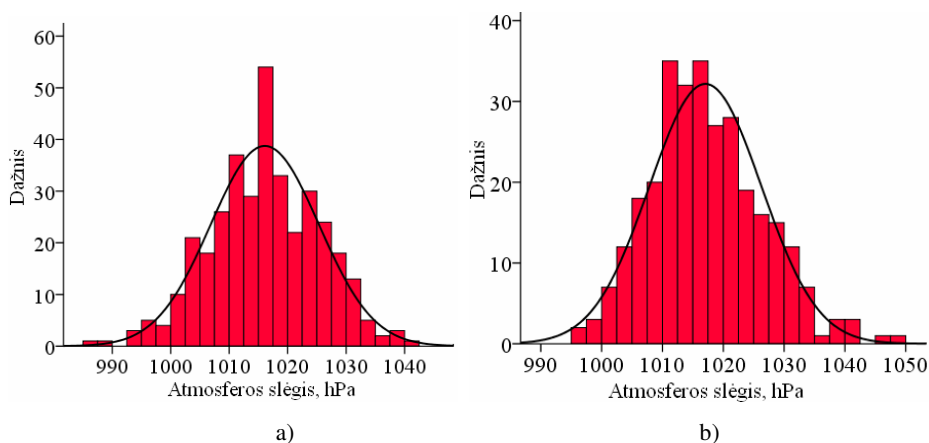
Atlikus Kolmogorovo–Smirnov testą, nustatyta, kad gauti KKSS ir atmosferos slėgio skirstiniai yra normalūs. Kadangi gautų rezultatų patikimumo lygmuo buvo didesnis už 0,05 dydį.

Taip pat buvo sudarytos septynerių metų kietosios kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio reikšmių dažnių histogramos (3.3 pav.).



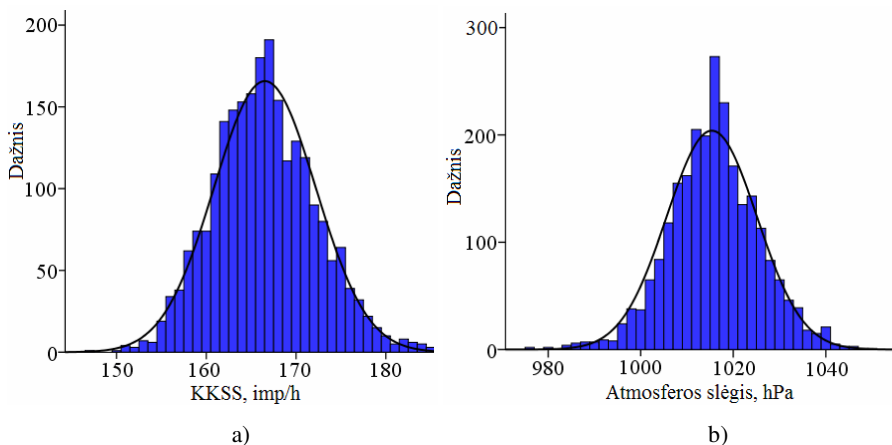
**3.1 pav.** KKSS reikšmių pasiskirstymas ir  $N(\bar{x}, s_x)$  tankio funkcija: a – 2003 m.; b – 2004 m.

**Fig. 3.1.** Distribution of HCRF values and  $N(\bar{x}, s_x)$  density function: a – 2003; b – 2004



**3.2 pav.** Atmosferos slėgio reikšmių pasiskirstymas ir  $N(\bar{x}, s_x)$  tankio funkcija:  
a – 2002 m.; b – 2006 m.

**Fig. 3.2.** Distribution of atmospheric pressure values and  $N(\bar{x}, s_x)$  density function:  
a – 2002; b – 2006



**3.3 pav.** KKSS (a) ir atmosferos slėgio (b) reikšmių per 2002–2008 metų laikotarpį pasiskirstymas ir  $N(\bar{x}, s_x)$  tankio funkcija

**Fig. 3.3.** Distribution of HCRF (a) and atmospheric pressure (b) values for the time period 2002–2008 and  $N(\bar{x}, s_x)$  density function

Iš 3.3 paveikslo matoma, kad septynerių metų kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmės artimos normaliajam dėsniui. Buvo statistiškai analizuojamos atskirais metų sezonais kietosios kosminės spinduliuo-

tės srauto ir atmosferos slėgio reikšmės. Analizės rezultatai pateikiami 3.4 ir 3.7 lentelėse.

Iš 3.4 ir 3.5 lentelių matoma, kad KKSS reikšmių skirtingais metų sezonais pasiskirstymas artimas normaliajam dėsniui. Kitų metų sezonų KKSS statistinių parametrų reikšmės pateiktos A priede (1–5 lentelės).

KKSS reikšmių asimetrijos koeficientas 2003 ir 2007 metais kito nuo  $-0,29$  iki  $0,62$  (3.4–3.5 lentelės). Neigiamos asimetrijos koeficiento reikšmės parodo, kad KKSS reikšmės yra mažesnės negu KKSS reikšmių vidutinė reikšmė.

2004 m. pavasario ir rudens sezonais bei 2006 m. vasaros sezonu KKSS duomenų sklaida apie reikšmių vidurkį yra didesnė, kadangi eksceso koeficientas yra didesnis už nulį (A priede). Apskaičiuotos asimetrijos koeficiento ir eksceso KKSS ir atmosferos slėgio patikimumo lygmens reikšmės yra tokios pačios.

KKSS reikšmių ekscesas 2003 ir 2007 metais kito nuo  $-0,73$  iki  $0,12$  (3.4–3.5 lentelės). Neigiama eksceso koeficiento reikšmė parodo, kad KKSS duomenų sklaida apie vidurkį yra mažesnė už normaliosios kreivės. Eksceso koeficiento reikšmė didesnė už nulį parodo, kad KKSS duomenų sklaida apie vidurkį yra didesnė už normaliosios kreivės. Kitų metų sezonų KKSS statistinių parametrų reikšmės pateiktos A priede (1–5 lentelės).

**3.4 lentelė.** Pagrindiniai KKSS statistinių parametrų rezultatai 2003 metais

**Table 3.4.** The main statistical parameters results of HCRF in 2003

| Sezonai                                        |                | KKSS, imp./h            |                        |                        |                         |
|------------------------------------------------|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
|                                                |                | Žiemos                  | Pavasario              | Vasaros                | Rudens                  |
| Vidurkis                                       |                | 167,87<br>( $p=0,57$ )  | 163,34<br>( $p=0,45$ ) | 159,60<br>( $p=0,41$ ) | 161,54<br>( $p=0,53$ )  |
| Vidurkio 95 %<br>pasikliautiniai<br>intervalai | Apatinė riba   | 166,74                  | 162,45                 | 158,79                 | 160,49                  |
|                                                | Viršutinė riba | 169,00                  | 164,23                 | 160,42                 | 163,60                  |
| Mediana                                        |                | 167,74                  | 163,02                 | 159,29                 | 161,99                  |
| Vidutinis kvadratinis nuokrypis                |                | 5                       | 4                      | 4                      | 5                       |
| Minimali reikšmė                               |                | 158                     | 154                    | 152                    | 147                     |
| Maksimali reikšmė                              |                | 185                     | 176                    | 171                    | 172                     |
| Asimetrijos koeficientas                       |                | 0,43<br>( $p=0,26$ )    | 0,18<br>( $p=0,25$ )   | 0,53<br>( $p=0,25$ )   | $-0,29$<br>( $p=0,25$ ) |
| Ekscesas                                       |                | $-0,04$<br>( $p=0,51$ ) | 0,12<br>( $p=0,50$ )   | 0,10<br>( $p=0,50$ )   | 0,01<br>( $p=0,50$ )    |

**3.5 lentelė.** Pagrindiniai KKSS statistinių parametų rezultatai 2007 metais**Table 3.5.** The main statistical parameters results of HCRF in 2007

| Sezonai                                        |                | KKSS, imp./h           |                        |                        |                        |
|------------------------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                |                | Žiemos                 | Pavasario              | Vasaros                | Rudens                 |
| Vidurkis                                       |                | 171,00<br>( $p=0,62$ ) | 169,53<br>( $p=0,53$ ) | 165,45<br>( $p=0,41$ ) | 168,95<br>( $p=0,55$ ) |
| Vidurkio 95 %<br>pasikliautiniai<br>intervalai | Apatinė riba   | 169,77                 | 168,48                 | 164,63                 | 167,87                 |
|                                                | Viršutinė riba | 172,23                 | 170,59                 | 166,27                 | 170,04                 |
| Mediana                                        |                | 171,17                 | 169,28                 | 165,60                 | 167,68                 |
| Vidutinis kvadratinis nuokrypis                |                | 6                      | 5                      | 4                      | 5                      |
| Minimali reikšmė                               |                | 159                    | 158                    | 156                    | 160                    |
| Maksimali reikšmė                              |                | 184                    | 179                    | 176                    | 183                    |
| Asimetrijos koeficientas                       |                | 0,06                   | 0,07                   | -0,07                  | 0,62                   |
| Ekscesas                                       |                | -0,73                  | -0,44                  | -0,29                  | -0,06                  |

**3.6 lentelė.** Pagrindiniai atmosferos slėgio statistinių parametų rezultatai 2004 metais**Table 3.6.** The main statistical parameters results of atmospheric pressure in 2004

| Sezonai                                        |                | Atmosferos slėgis, hPa  |                         |                         |                         |
|------------------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                |                | Žiemos                  | Pavasario               | Vasaros                 | Rudens                  |
| Vidurkis                                       |                | 1012,28<br>( $p=1,13$ ) | 1016,07<br>( $p=1,03$ ) | 1013,41<br>( $p=0,58$ ) | 1015,67<br>( $p=0,99$ ) |
| Vidurkio 95 %<br>pasikliautiniai<br>intervalai | Apatinė riba   | 1010,04                 | 1014,04                 | 1012,26                 | 1013,69                 |
|                                                | Viršutinė riba | 1014,52                 | 1018,11                 | 1014,56                 | 1017,66                 |
| Mediana                                        |                | 1013,15                 | 1015,97                 | 1013,50                 | 1015,70                 |
| Vidutinis kvadratinis nuokrypis                |                | 11                      | 10                      | 6                       | 9                       |
| Minimali reikšmė                               |                | 985                     | 989                     | 996                     | 990                     |
| Maksimali reikšmė                              |                | 1035                    | 1039                    | 1024                    | 1039                    |
| Asimetrijos koeficientas                       |                | -0,17<br>( $p=0,26$ )   | 0,09<br>( $p=0,25$ )    | -0,48<br>( $p=0,25$ )   | -0,21<br>( $p=0,25$ )   |
| Ekscesas                                       |                | -0,34<br>( $p=0,51$ )   | -0,06<br>( $p=0,50$ )   | 0,32<br>( $p=0,50$ )    | 0,31<br>( $p=0,50$ )    |

**3.7 lentelė.** Pagrindiniai atmosferos slėgio statistinių parametrų rezultatai 2006 metais  
**Table 3.7.** The main statistical parameters results of atmospheric pressure in 2006

| Sezonai                                        |                | Atmosferos slėgis, hPa  |                         |                         |                         |
|------------------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                |                | Žiemos                  | Pavasario               | Vasaros                 | Rudens                  |
| Vidurkis                                       |                | 1021,82<br>( $p=1,08$ ) | 1013,72<br>( $p=0,88$ ) | 1014,87<br>( $p=0,75$ ) | 1014,86<br>( $p=0,93$ ) |
| Vidurkio 95 %<br>pasikliautiniai<br>intervalai | Apatinė riba   | 1019,67                 | 1011,97                 | 1013,38                 | 1013,01                 |
|                                                | Viršutinė riba | 1023,98                 | 1015,47                 | 1016,36                 | 1016,70                 |
| Mediana                                        |                | 1021,00                 | 1012,90                 | 1015,70                 | 1013,00                 |
| Vidutinis kvadratinis nuokrypis                |                | 10                      | 8                       | 7                       | 9                       |
| Minimali reikšmė                               |                | 1004                    | 997                     | 996                     | 995                     |
| Maksimali reikšmė                              |                | 1049                    | 1034                    | 1030                    | 1033                    |
| Asimetrijos koeficientas                       |                | 0,38                    | 0,33                    | -0,18                   | -0,06                   |
| Ekscesas                                       |                | -0,49                   | -0,36                   | -0,45                   | -0,68                   |

Iš 3.6 ir 3.7 lentelių matoma, kad atmosferos slėgio reikšmių skirtingais metų sezonais pasiskirstymas artimas normaliajam dėsniui.

Atmosferos slėgio reikšmių asimetrijos koeficientas 2004 ir 2006 metais kito nuo -0,48 iki 0,38 (3.6–3.7 lentelės). Neigiamos asimetrijos koeficiento reikšmės parodo, kad atmosferos slėgio reikšmės yra mažesnės negu atmosferos slėgio reikšmių vidutinė reikšmė. Kitų metų sezonų atmosferos slėgio statistinių parametrų reikšmės pateiktos A priede (6–10 lentelės).

Atmosferos slėgio reikšmių eksceso koeficientas 2004 ir 2006 metais kito nuo -0,68 iki 0,32. Panašūs rezultatai gaunami analizuojant 2008 metų duomenis. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto asimetrijos koeficientas kito nuo -0,26 iki 0,72, o ekscesas – nuo -0,63 iki 0,17. Atmosferos slėgio 2008 metų duomenų statistinė analizė parodė, kad rezultatai yra panašūs lyginant su ankstesniais. Neigiama eksceso koeficiento reikšmė parodo, kad atmosferos slėgio duomenų sklaida apie vidurkį yra mažesnė už normaliosios kreivės, ir atvirkščiai. Eksceso koeficiento reikšmė didesnė už nulį parodo, kad atmosferos slėgio duomenų sklaida apie vidurkį yra didesnė už normaliosios kreivės.

2002 metų pavasario sezonu, 2005 m. žiemos – vasaros sezonais bei 2007 m. vasaros sezonu atmosferos slėgio duomenų sklaida apie reikšmių vidurkį yra didesnė, kadangi eksceso koeficientas yra didesnis už nulį (A priedas, 6–10 lentelės).

## 3.2. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių koreliacinė analizė

Koreliacinė analizė – tai statistinis metodas, kuriuo tiriami atsitiktinių dydžių, turinčių normalinį skirstinį, tarpusavio ryšiai generalinėje aibėje. Koreliacinės analizės metodo naudojimas kiekybiškai leidžia nustatyti, įvertinti ir paaiškinti ryšį tarp tam tikrą reiškinį charakterizuojančių rodiklių. Pats koreliacinės analizės metodas neatskleidžia ryšių tarp reikšmių atsiradimo priežasčių, jis tik kiekybiškai išmatuoja tų ryšių stiprumą (Hill *et al.* 2007). Koreliacijos koeficientas parodo ryšio stiprumą, o jo ženklas – ryšio pobūdį ir kryptį.

Šis poskyris skirtas kiekybinių rodiklių ryšio analizei. Koreliacinei analizei atlikti panaudota Maple v.11.0 programa. Įvertinant KKSS reikšmių kitimo tendenciją buvo apskaičiuoti koreliacijos koeficientai  $r(x, y)$  tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių per 2002–2008 metų laikotarpį. Skaičiavimai atlikti pagal formulę:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n^2 s_x s_y}, \quad (3.3)$$

čia  $r$  – Pirono koreliacijos koeficientas;  $n$  – gretinamų dydžių porų kiekis,  $n = 28 \div 31$  (dienų skaičius per mėnesį);  $x_i, y_i$  – gretinamų dydžių mėnesių vidurkiai;  $s_x$  ir  $s_y$  – gretinamų dydžių mėnesių vidurkių dispersijos.

Buvo apskaičiuoti koreliacijos koeficientai tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių pagal 3.3 formulę (3.8 lentelė).

Analizuojant 3.8 lentelės duomenis matoma, kad koreliacijos koeficientų reikšmės yra neigiamos, išskyrus 2006 metų lapkričio ir 2007 metų vasario mėnesius. Tačiau daugelis atvejų patvirtina, kad tarp nagrinėjamų dydžių egzistuoja atvirkštinė koreliacija. Sąryšis tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių yra stipresnis žiemos ir silpnesnis vasaros mėnesiais. Koreliacijos koeficientų reikšmės kinta nuo  $-0,14$  iki  $-0,91$ .

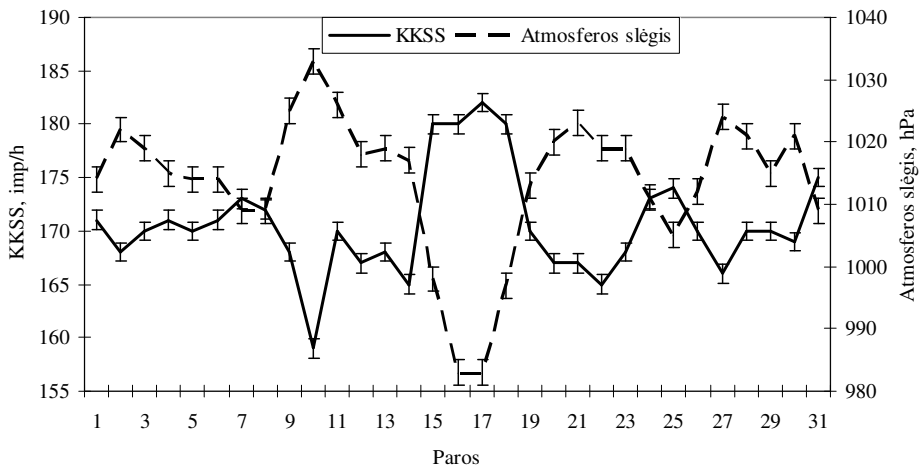
Atvirkštinę koreliaciją tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių galima pavaizduoti grafiškai. Atvirkštinės koreliacijos tarp nagrinėjamų dydžių pavyzdžiai pateikti 3.4–3.6 paveiksluose.

3.4 paveiksle pavaizduota atvirkštinė koreliacija tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio 2005 metų gruodžio mėn. Koreliacijos koeficiento reikšmė lygi  $-0,91$ . Iš paveikslo matoma, kad didėjant KKSS reikšmėms, atmosferos slėgio reikšmės mažėja ir atvirkščiai.

**3.8 lentelė.** Koreliacijos koeficientai tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių 1,2–1,6 MeV energijų diapazone

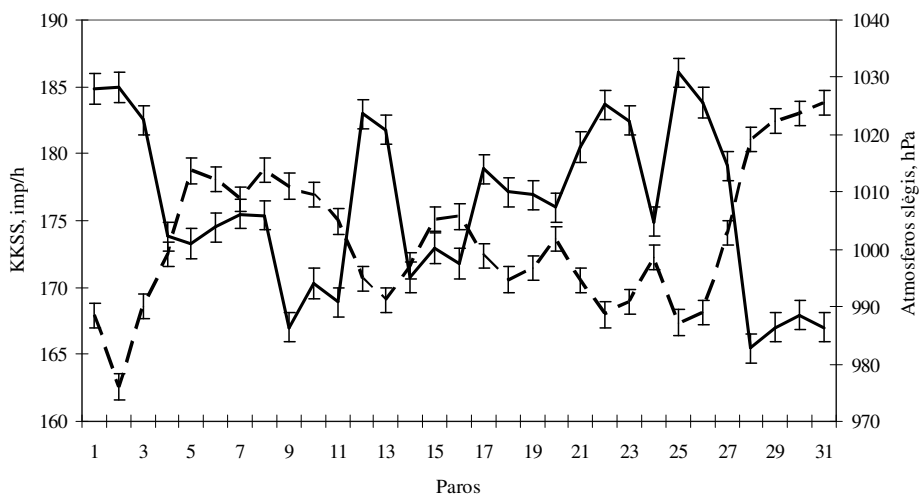
**Table 3.8.** Correlation coefficients between HCRF and atmospheric pressure values in 1.2–1.6 MeV interval of energies

| Mėnesiai  | Metai |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  |
| Sausis    | –0,85 | –0,71 | –0,78 | –0,51 | –0,67 | –0,58 | –0,82 |
| Vasaris   | –0,26 | –0,73 | –0,55 | –0,86 | –0,75 | –0,65 | –0,81 |
| Kovas     | –0,73 | –0,62 | –0,66 | –0,76 | –0,76 | –0,86 | –0,87 |
| Balandis  | –0,21 | –0,69 | –0,27 | –0,63 | –0,53 | –0,72 | –0,68 |
| Gegužė    | –0,26 | –0,32 | –0,51 | –0,59 | –0,72 | –0,39 | –0,39 |
| Birželis  | –0,50 | –0,32 | –0,55 | –0,14 | –0,21 | –0,35 | –0,21 |
| Liepa     | –0,33 | –0,57 | –0,39 | –0,53 | –0,16 | –0,59 | –0,41 |
| Rugpjūtis | –0,28 | –0,66 | –0,58 | –0,43 | –     | –0,53 | –0,24 |
| Rugsėjis  | –0,74 | –0,41 | –0,58 | –0,14 | –     | –0,58 | –0,30 |
| Spalis    | –0,69 | –0,43 | –0,35 | –0,64 | –0,28 | –0,45 | –0,77 |
| Lapkritis | –0,70 | –0,78 | –0,83 | –0,75 | –0,66 | –0,76 | –     |
| Gruodis   | –0,81 | –0,76 | –0,78 | –0,91 | –0,40 | –0,76 | –     |



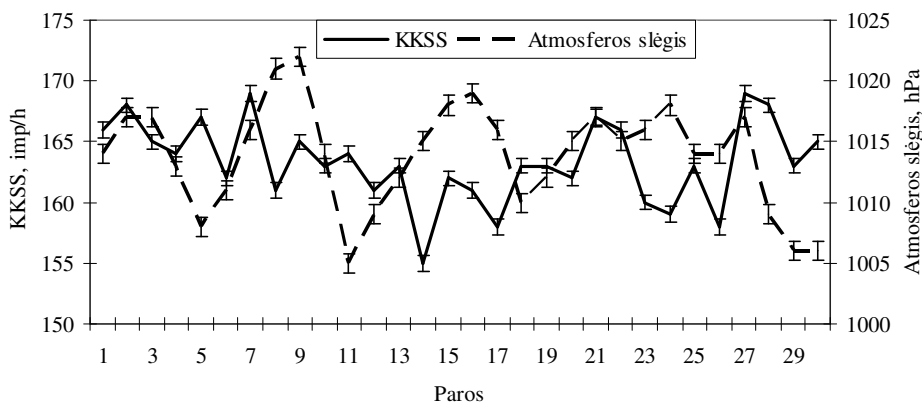
**3.4 pav.** Atvirkštinė koreliacija tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių 2005 m. gruodžio mėn.

**Fig. 3.4.** Invers correlation between HCRF and atmospheric pressure values in December 2005



**3.5 pav.** Atvirkštinė koreliacija tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių 2008 m. kovo mėn.

**Fig. 3.5.** Invers correlation between HCRF and atmospheric pressure values in March 2008



**3.6 pav.** Atvirkštinė koreliacija tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių 2005 m. birželio mėn.

**Fig. 3.6.** Invers correlation between HCRF and atmospheric pressure values in June 2005

Didžiausia koreliacijos koeficiento reikšmė tarp kietosios kosminės spindulių srauto ir atmosferos slėgio yra 2008 metais kovo mėnesį, ji lygi  $-0,87$  (3.5 pav.). Mažiausios koreliacijos koeficientų reikšmės yra 2005 metų birželio

ir rugsėjo mėnesiai, kurios lygios  $-0,14$ . 2005 metų birželio mėn. atvirkštinė koreliacija pavaizduota 3.6 paveiksle.

Kadangi nagrinėjami dydžiai yra atsitiktiniai jų realizacijos yra išsibarsčiusios apie tikrąją parametro reikšmę. Tam tikslui buvo apskaičiuoti koreliacijos koeficientų pasikliautinieji intervalai. Koreliacijos koeficientų pasikliautinieji intervalai skaičiuojami pagal formulę:

$$\delta_r = \left( r - \frac{t_p(1-r^2)}{\sqrt{n}}, r + \frac{t_p(1-r^2)}{\sqrt{n}} \right), \quad (3.4)$$

čia  $x$  – atmosferos slėgio reikšmės;  $y$  – kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmės;  $r$  – koreliacijos koeficiento įvertis;  $F$  – standartinio normalinio skirstinio pasiskirstymo funkcija;  $p$  – patikimumo lygmuo,  $t_p = F^{-1}\left(\frac{1+p}{2}\right)$ .

Koreliacijos koeficientų ir pasikliautinieji intervalai pateikti 3.9 lentelėje. Galima teigti, kad abiem atvejais jie yra pakankamai aukšti ir yra statistiškai reikšmingi. Taip pat buvo apskaičiuotas septynerių metų koreliacijos koeficientas, kuris lygus  $-0,51$  bei jo pasikliautinis intervalas  $-0,54 \dots -0,48$ .

**3.9 lentelė.** Koreliacijos koeficientų tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių bei jų pasikliautinieji intervalai 1,2–1,6 MeV energijų diapazone

**Table 3.9.** Correlation coefficients between HCRF and atmospheric pressure and their confidence intervals in 1.2–1.6 MeV interval of energies

| Metai | Pirsono koreliacijos koeficientas | Pirsono koreliacijos koeficiento pasikliautinieji intervalai ( $p = 0,95$ ) |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 2002  | $-0,47$                           | $-0,55 \dots -0,39$                                                         |
| 2003  | $-0,43$                           | $-0,51 \dots -0,34$                                                         |
| 2004  | $-0,46$                           | $-0,54 \dots -0,36$                                                         |
| 2005  | $-0,53$                           | $-0,61 \dots -0,45$                                                         |
| 2006  | $-0,56$                           | $-0,63 \dots -0,48$                                                         |
| 2007  | $-0,57$                           | $-0,63 \dots -0,49$                                                         |
| 2008  | $-0,57$                           | $-0,65 \dots -0,49$                                                         |

Šiuo atveju ryšys tarp kintamųjų nėra tiesinis, todėl tokių ryšių galima įvertinti apskaičiavus koreliacinius santykius  $\eta_{x/y}, \eta_{y/x}$  pagal formules:

$$\eta_{x/y} = \sqrt{\frac{(\overline{x_y})^2 - (\overline{x})^2}{\overline{x^2} - (\overline{x})^2}}, \quad \eta_{y/x} = \sqrt{\frac{(\overline{y_x})^2 - (\overline{y})^2}{\overline{y^2} - (\overline{y})^2}}. \quad (3.5)$$

Abu koreliaciniai santykiai būna ne didesni kaip 1 ir ne mažesni kaip koreliacijos koeficiento modulis  $0 \leq |x| \leq \eta_{x/y}, \eta_{y/x} \leq 1$ . Kai  $\eta_{x/y} \approx 1$  arba  $\eta_{y/x} \approx 1$ , tai sąryšis tarp  $X$  ir  $Y$  stiprus, o kai  $\eta_{x/y} \approx 0$  ir  $\eta_{y/x} \approx 0$  – sąryšio nėra.

Koreliaciniams santykiams apskaičiuoti reikia sudaryti tiriamųjų dydžių  $X$ ,  $Y$  koreliacinę lentelę. Atmosferos slėgio mėnesių vidurkio įgyjamų reikšmių intervalas ( $\min \overline{X}_i, \max \overline{X}_i$ ) suskirstytas į  $nx$  dalinių intervalų. Panašiai suskirstytos KKSS mėnesių vidurkių ( $Y$ ) įgyjamos reikšmės į intervalus.

Koreliacinių santykių pasikliautinieji intervalai (3.10 lentelė) apskaičiuoti pagal formulę:

$$\delta_\eta = \left( \eta - \frac{t_p(1-\eta^2)}{\sqrt{n}}, \eta + \frac{t_p(1-\eta^2)}{\sqrt{n}} \right), \quad (3.6)$$

čia  $\eta$  – koreliacinio santykio įvertis.

**3.10 lentelė.** Koreliacinių santykių  $\eta$  reikšmės bei jų pasikliautinieji intervalai  
**Table 3.10.** Correlation ratio  $\eta$  values and their confidence intervals

| Metai | Koreliacinio santykio reikšmė | Koreliacinio santykio pasikliautinieji intervalai ( $p = 0,95$ ) |
|-------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 2002  | 0,73                          | 0,62...0,83                                                      |
| 2003  | 0,52                          | 0,42...0,63                                                      |
| 2004  | 0,46                          | 0,34...0,58                                                      |
| 2005  | 0,49                          | 0,38...0,59                                                      |
| 2006  | 0,58                          | 0,47...0,66                                                      |
| 2007  | 0,53                          | 0,43...0,64                                                      |
| 2008  | 0,74                          | 0,63...0,85                                                      |

Iš 3.10 lentelės matoma, kad koreliacinių santykių reikšmės yra statistiškai reikšmingos ir pakankamai aukštos bei pakankamos tendencijai išryškinti. 2002–2008 metų laikotarpio koreliacinis santykis lygus 0,79, o jo pasikliautinas intervalas yra 0,75...0,83.

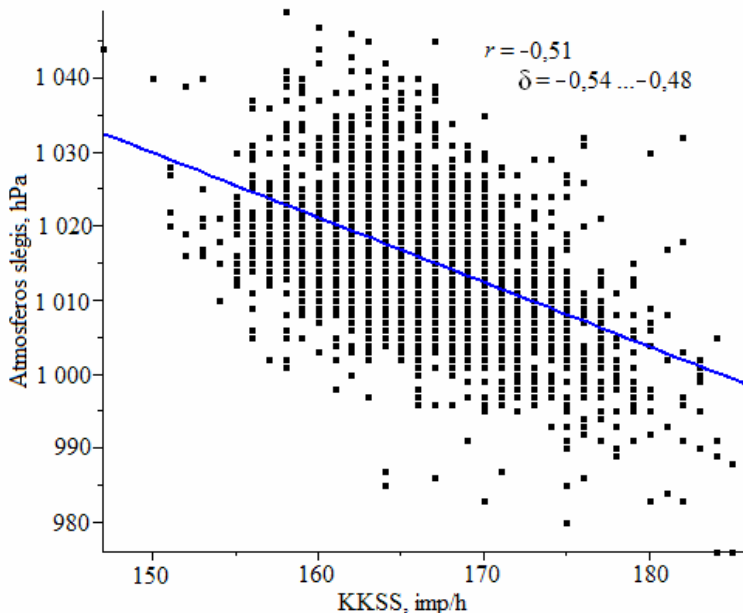
Aukščiau pateiktos formulės bei rezultatai leidžia įvertinti ryšį tarp kietosios kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio reikšmių.

### 3.3. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių regresinė analizė

Regresija – tai viapusė statistinė priklausomybė, kuri išreiškiama vadina-mąja regresijos funkcija. Regresinė analizė – tai statistinis metodas priklausomybių tarp atsitiktinių dydžių matematinei išraiškai (regresijos lygčiai) nustatyti ir jos parametrams analizuoti. Regresinei analizei atlikti panaudota Maple v.11.0 programa.

Regresijos tiesės tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių buvo sudarytos 2002–2008 metų laikotarpiui bei kiekvienų metų atskiriems sezonams.

Bendra septynerių metų regresijos tiesė tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių pateikta 3.7 paveiksle.

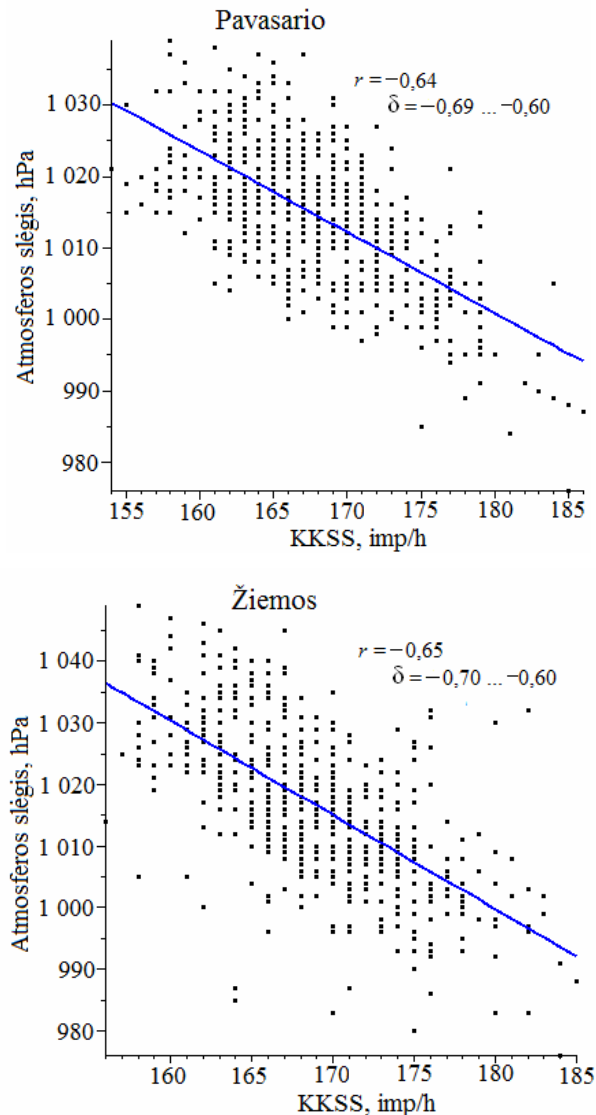


**3.7 pav.** Tiesinė regresija tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių per septynerių metų laikotarpį

**Fig. 3.7.** Linear regression between HCRF and atmospheric pressure values for seven year time

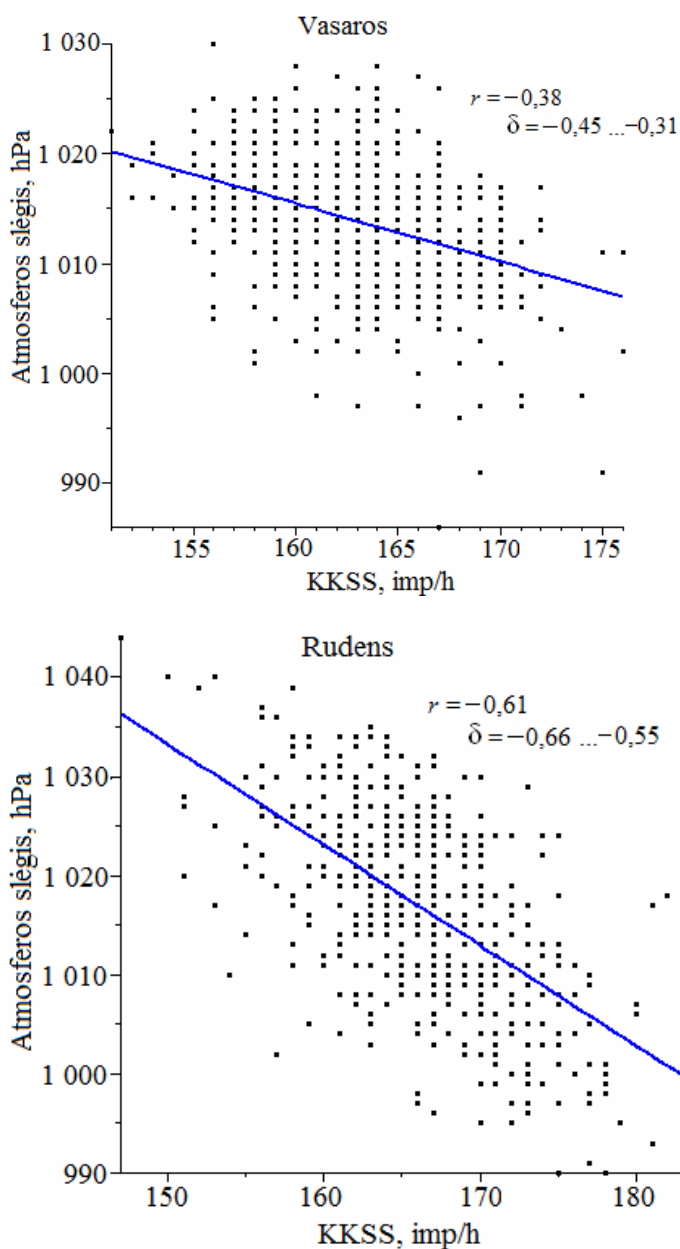
3.7 paveiksle parodyta tiesioginė nagingėjimų kintamųjų priklausomybė. Taškų, atitinkančių stebimus rezultatus, visuma koncentruojasi palei tiesę.

Regresijos tiesės tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių atskirais metų sezonais pateiktos 3.8 ir 3.9 paveiksluose.



**3.8 pav.** Tiesinės regresijos tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių per 2002–2008 metų laikotarpį pavasario ir žiemos sezonu

**Fig. 3.8.** Linear regression between HCRF and atmospheric pressure values for time interval 2002–2008 in sping and winter seasons



**3.9 pav.** Tiesinės regresijos tarp KKSS ir atmosferos slėgio reikšmių per 2002–2008 metų laikotarpį vasaros ir rudens sezonų

**Fig. 3.9.** Linear regression between HCRF and atmospheric pressure values for time interval 2002–2008 in summer and autumn seasons

Iš 3.8 ir 3.9 paveikslų matoma, kad regresijos tiesių pasvirimo kampas skiriasi ir yra gautos skirtingos koreliacijos koeficientų reikšmės. Pastebima, kad stipresnė koreliacija tarp kietosios kosminės spinduliuotos srauto ir atmosferos slėgio reikšmių yra žiemos ir rudens sezonu, o silpnesnė – vasaros ir pavasario sezonais. 2002–2008 metų laikotarpiu regresijos tiesių pasvirimo kampai mažai skiriasi (B priedas, 1–7 pav.). Palyginus regresijos tieses, pasvirimo kampas rudens ir pavasario sezonais yra beveik vienodas, tai gali būti siejama su vienodu Žemės atstumu nuo Saulės bei Žemės pasvirimo kampu.

Žiemos ir vasaros sezonų metu atmosferos slėgį ir KKSS tarpusavio ryšį nusakančių regresijos tiesių pasvirimo kampas yra skirtingas. Dėl to, kad Žemė žiemos sezonu yra perihelyje, o vasaros sezonu – afelyje. Be to, pasvirimo kampas gali priklausyti nuo Saulės zenitinio kampo.

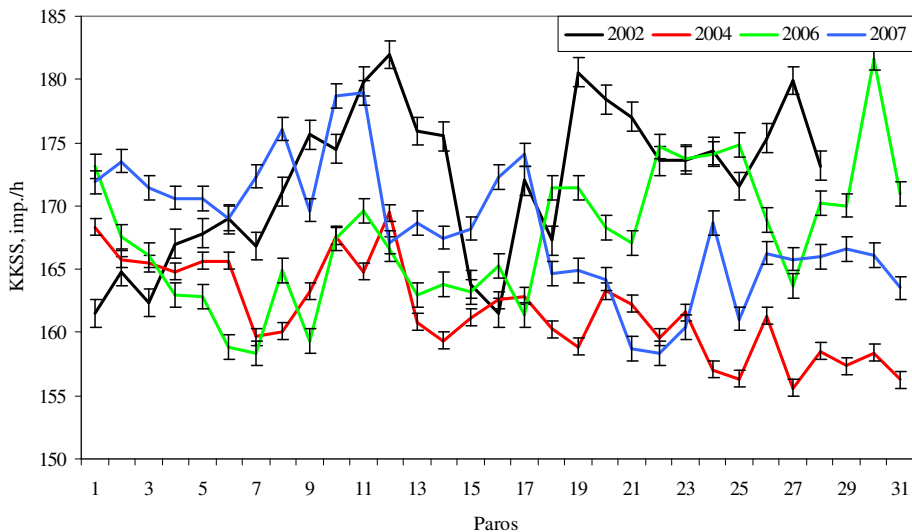
### **3.4. Kietosios kosminės spinduliuotės srauto ties žemės paviršiumi dėsningumai**

Kietosios kosminės spinduliuotės srauto (KKSS) eigos monitoringas 2002–2008 m. atliktas Vilniaus mieste Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fizikos katedroje naudojant gama-spektrometrą. KKSS eiga ties žemės paviršiumi stebima 1,2–1,6 MeV energijų diapazone. Matavimo rezultatai pateikiami skaitmenine ir grafine forma.

Tačiau Стыро (1983; 1991) darbuose nustatyta, kad atmosferos slėgio pokyčiai susieti su KKSS reikšmių pokyčiais tik valandiniais ir didesniais laiko intervalais. Todėl tokiai prognozei atlikti reikia dalelių kiekį sumuoti iki vienos valandos laiko intervalo. Pastebėta, kad integrinis KKSS spektras nepastovus laike bei nuolat kinta jo dalys.

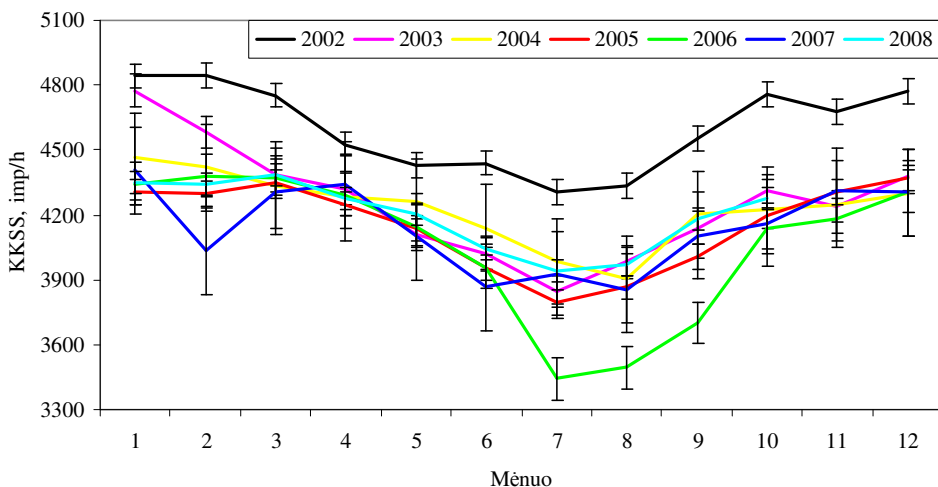
Tiriant KKSS variacijų dėsningumą ties žemės paviršiumi, buvo atlikta KKSS paros vidutinių reikšmių analizė mėnesiais. Dažniausiai KKSS paros vidurkiai nuo mėnesio vidurkio skiriasi 5–8 %. KKSS eigos 1,2–1,6 MeV energijų diapazone pavyzdžiai įvairiais mėnesiais pateikti 3.10 paveiksle.

KKSS pokyčių eiga mėnesiais yra skirtinga. Skiriasi tiek absoliučios reikšmės, tiek jų pokyčių tendencija. 1,2–1,6 MeV energijų diapazone vasario 1–12 d. KKSS paros vidurkių reikšmės laipsniškai didėjo. Tokių ilgų KKSS reikšmių didėjimo eigų kitais atvejais nebuvo pastebėta. Nuo vasario 13 d. stebimas staigus KKSS paros vidurkių reikšmės mažėjimas (3.10 pav). 2004 metų liepos mėnesį KKSS reikšmės kito įvairiai, staigių ir ilgų mažėjimų ar padidėjimų neužregistruota. 2006 metų spalio 1–7 dienomis stebimas eksponentinis KKSS reikšmių mažėjimas. Tą patį mėnesį stebimas staigus KKSS reikšmių sumažėjimas 25–27 dienomis. 2007 metų gegužės mėn. pradžioje ir pabaigoje stebimas tolydus mažėjimas per šešias dienas (3.10 pav.).



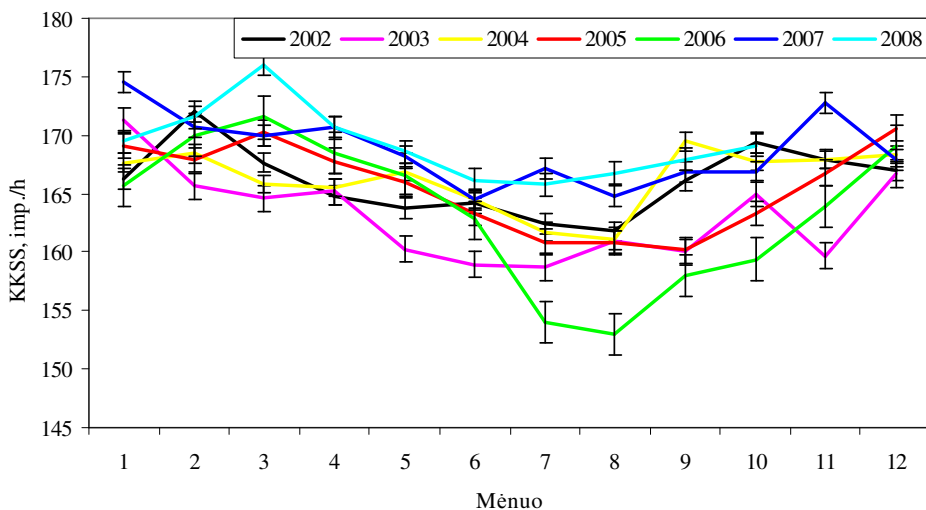
**3.10 pav.** KKSS mėnesio parų vidurkiai 1,2–1,6 MeV energijų diapazone:  
 — 2002 m. vasario mėn.; — 2004 m. liepos mėn.; — 2006 m. spalio mėn.;  
 — 2007 m. gegužės mėn.

**Fig. 3.10.** HCRF monthly averages values in interval of energies 1.2–1.6 MeV in:  
 — February 2002; — July 2004; — October 2006; — May 2007



**3.11 pav.** KKSS mėnesių vidurkiai per 2002–2007 metų laikotarpį integruiniame 0,3–4,0 MeV diapazone

**Fig. 3.11.** Monthly average values of HCRF in integral 0.3–4.0 MeV interval of energies for the time period 2002–2007



**3.12 pav.** KKSS mėnesių vidurkiai per 2002–2007 metų laikotarpį 1,2–1,6 MeV energijų diapazone

**Fig. 3.12.** Monthly average values of HCRF in 1.2–1.6 MeV interval of energies for the time period 2002–2007

KKSS metinei eigai atskiruose energijų diapazonuose įvertinti iš eksperimento duomenų atlikti mėnesių vidurkių skaičiavimai. Nustatyta, kad KKSS mėnesių viduriai nėra stabilūs. Jų pokyčių eigos įvairiuose energiniuose diapazone pavyzdys pateiktas 3.11–3.12 pav. KKSS reikšmių kaitos tendencijų nesutapimų atskiruose diapazonuose pasitaiko visais metų sezonais. Kaitos tendencijų nesutapimai galimi dėl poveikio į KKSS srautą, dėl pakitusio geomagnetinio lauko, miuonų pasiskirstymo kaitos aukštesniuose atmosferos sluoksniuose, atmosferos tankio pokyčių, kurie veikia miuonų srautą judantį Žemės link.

Skirtingais metų sezonais kinta Saulės aktyvumo poveikis atmosferai. Šis reiškinys turi įtakos kosminių dalelių srautui atmosferoje ir fiksuojamam ties žemės paviršiumi antrinių dalelių srautui.

KKSS mėnesių reikšmės taip pat kinta sezoniškai: per 2002–2008 metų laikotarpį jos didėjo integrujant ir 2-ame diapazone rudenį ir žiemą (3.11 ir 3.12 pav.), o mažėjo pavasarį ir vasarą. Taigi galime teigti, kad ties žemės paviršiumi kietosios kosminės spinduliuotės srauto energinis spektras yra nestabilus laike.

Užfiksuotą antrinių dalelių kiekį pirmame diapazone lemia aukštųjų energijų dalelės, perėjusios per švino sluoksnį ir patyrusios Komptono sklaidą jutiklyje. Tuo pačiu metu fiksuojami ir natūralios kilmės radioaktyvūs izotopai, pasiekę jutiklį su oro srautais. Dirbtinės kilmės radioaktyvūs atomai sudaro nežymią dalį, lyginant su natūralios kilmės radionuklidų kiekiu.

### 3.5. Atmosferos slėgio sumažėjimo prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas

Padidėjęs Saulės aktyvumas sustiprina ciklonų ir anticiklonų judėjimą, todėl kinta bazinis orų režimas. Darbuose (Стыро 1983; Стыро, Богданович 1991; Стыро 1991) nustatytas sąryšis tarp KKSS svyravimų ir atmosferos slėgio kitimo po kelių parų. Registruojant KKSS ties žemės paviršiumi, gaunami duomenys, kuriuos galima naudoti kaip netiesioginį laukiamų slėgio pokyčių indikatorių. Atmosferos slėgio eigos monitoringas atliktas 2002–2008 metais pagal Vilniaus m. Lietuvos hidrometeorologijos prie Aplinkos ministerijos duomenis, lygiagrečiai su KKSS duomenimis.

Vienas iš veiksnių, lemiantis miuonų komponentės pasiskirstymą ties žemės paviršiumi, yra judančios oro masės. Tai ciklonai ir anticiklonai.

Skirtingais metų sezonais kinta Saulės aktyvumo poveikis geomagnetiniam laukui ir atmosferai. Šis reiškinys turi įtakos pirminių kosminių dalelių srautui atmosferoje ir fiksuojamam ties žemės paviršiumi antrinių dalelių srautui. KKSS mėnesių vidurkių reikšmės taip pat kinta sezoniškai.

Kriterijus, pagal kurį vertinamas atmosferos slėgio pokytis, tai KKSS kitimas prieš 3–6 paras. Vadinasi, ieškomas sąryšis tarp vidutinio paros atmosferos slėgio pokyčių ir KKSS intensyvumo sumažėjimų prieš 3–6 paras.

Atlikus analizę pastebėta, kad sąryšio efektyvumas didžiausias taikant KKSS mažėjimą tarp gretimų parų daugiau nei  $-15 \text{ imp./h}$  ir  $-20 \text{ imp./h}$  kriterijus. Todėl tolimesnei analizei yra taikomi šie kriterijai. KKSS kriterijus  $-25 \text{ imp./h}$  buvo atmestas, kadangi gauti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi. Gautų rezultatų efektyvumas mažesnis nei 50 %.

Kintamųjų reikšmėms buvo apskaičiuoti pasikliautinieji intervalai taikant 95 % pasikliautinumo lygmenį. Kiekvienu atveju visų gautų rezultatų reikšmės patenka į pasikliautinuosius intervalus. Analizės rezultatai pateikiami 3.11 lentelėje, kai atmosferos slėgiui kriterijus buvo netaikomas. Daugiau analizės rezultatų galima rasti C priede (1–6 lentelės).

Analizuojant 3.13 paveikslą rezultatus matoma, kad įvairiuose laiko intervaluose prognozes efektyvumas yra skirtingas. 2002 metais didžiausias efektyvumas lygus 69 % 9–10 h laiko intervale. Tačiau 2003 metais didžiausias efektyvumas lygus 73 % 12–13 h laiko intervale.

Išanalizavus duomenis pastebėta, kad sąryšio tarp atmosferos slėgio ir KKSS sumažėjimų didžiausias efektyvumas 8–9 h yra 69 % 2005 metais; 9–10 h 72 % 2006 metais; 11–12 h 75 % 2004 metais. Sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių tarp gretimų parų mažiausias efektyvumas 61 % stebimas 8–9 h 2002 metais; 11–12 h yra 56 % 2007 metais; 12–13 h yra 65 % 2004 metais (3.13 pav.).

Tolimesnė duomenų analizė buvo atlikta naudojant kitą kietosios kosminės spinduliuotės srauto mažėjimo kriterijų. Tai KKSS sumažėjimas – 20 imp./h ir daugiau. Gauti rezultatai pateikti 3.14 paveiksle.

Išanalizavus 3.14 paveiksle duomenis pastebėta, kad sąryšio tarp atmosferos slėgio ir KKSS pokyčių tarp gretimų parų be slėgio kriterijaus didžiausias efektyvumas 8–9 h yra 75 % 2003 metais; 9–10 h 73 % 2004 metais; 11–12 h 69 % 2003 bei 2005 metais; 12–13 h 72 % 2006 metais.

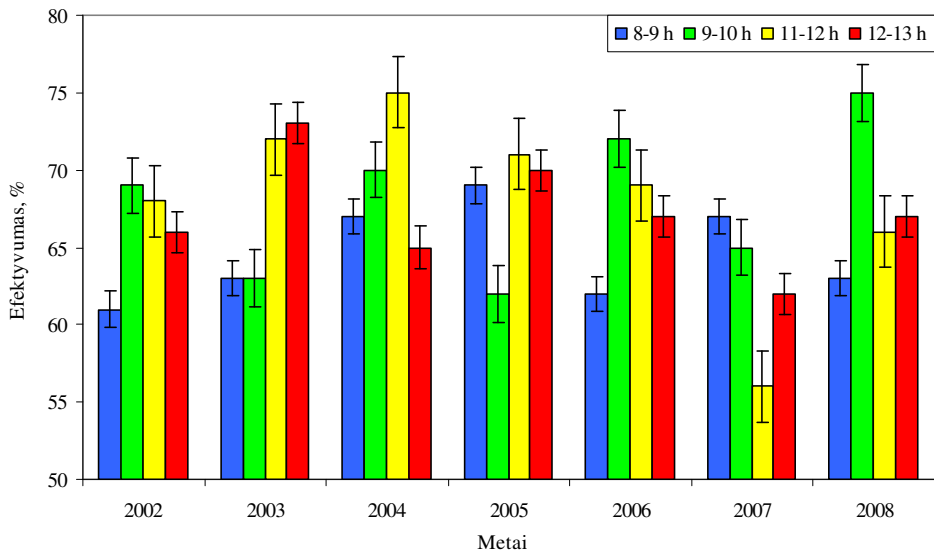
Sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio mažėjimų mažiausias efektyvumas 8–9 h yra 59 % 2004 metais; 9–10 h 65 % 2005 metais; 11–12 h 55% 2007 metais ir 66 % 2002 metais; 12–13 h yra 63 % 2002 metais (3.14 pav.).

**3.11 lentelė.** Prognozės efektyvumas tarp KKSS ir atmosferos slėgio sumažėjimų 1,2–1,6 MeV energijų diapazone įvairiais laiko intervalais Vilniuje 2008 metais  
**Table 3.11.** Efficiency of prognosis connection between HCRF and atmospheric pressure decrease in interval 1.2–1.6 MeV of energies at various time intervals in Vilnius in 2008

| Laiko intervalai,<br>h | –15 imp./h          |             |      | –20 imp./h          |             |      |
|------------------------|---------------------|-------------|------|---------------------|-------------|------|
|                        | Bendras<br>skaičius | Realizacija |      | Bendras<br>skaičius | Realizacija |      |
|                        |                     | Skaičius    | %    |                     | Skaičius    | %    |
| 8–9                    | 70                  | 44          | 63±3 | 49                  | 35          | 71±4 |
| 9–10                   | 84                  | 63          | 75±5 | 62                  | 44          | 71±5 |
| 11–12                  | 79                  | 52          | 66±4 | 52                  | 35          | 67±4 |
| 12–13                  | 72                  | 48          | 67±3 | 55                  | 39          | 71±3 |
| Viso                   | 305                 | 207         | 68±4 | 218                 | 153         | 70±3 |

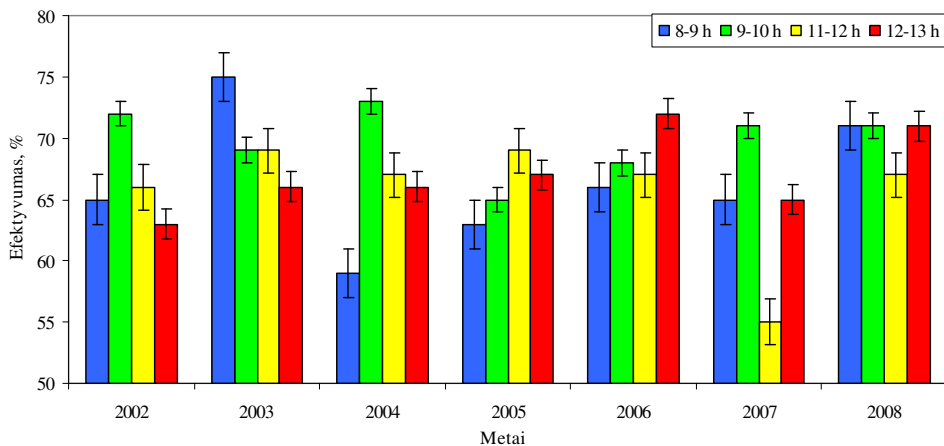
Analizuojant 3.11 lentelės duomenis pastebėta, kad sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio mažėjimų didžiausias efektyvumas 9–10 h yra 75 %, o mažiausias – 8–9 h 63 %, naudojant –15 imp./h KKSS kriterijų. Naudojant –20 imp./h KKSS kriterijų 8–9 h, 9–10 h ir 12–13 h sąryšio efektyvumas yra 71 %.

Lyginant septynerių metų duomenų rezultatus pastebėta, kad naudojant kietosios kosminės spinduliuotės srauto sumažėjimą – 15 imp./h ir daugiau prognozės efektyvumas yra panašus (3.13 pav.).



**3.13 pav.** Bendras sąryšio efektyvumas tarp KKSS (kriterijus –15 imp./h) ir atmosferos slėgio per 2002–2008 metų laikotarpį

**Fig. 3.13.** General efficiency of prognostic connection between HCRF (criterion –15 imp./h) and atmospheric pressure for the time interval 2002–2008



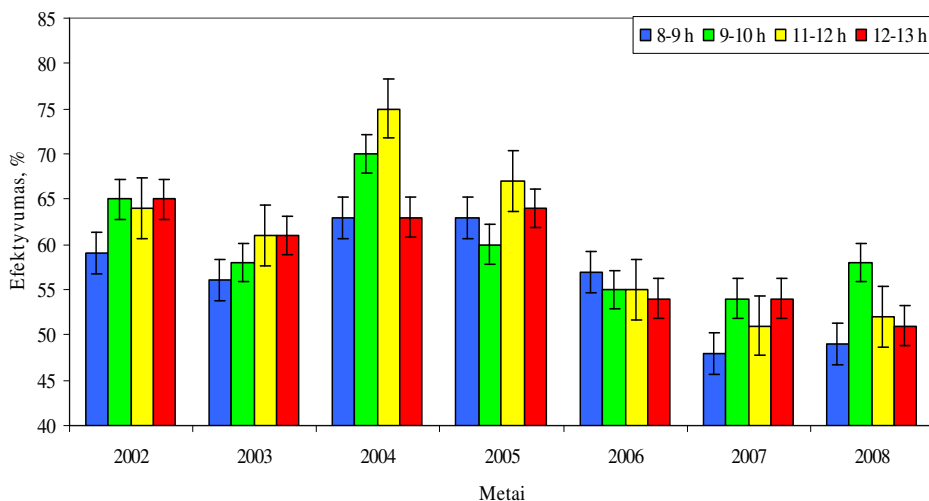
**3.14 pav.** Bendras sąryšio efektyvumas tarp KKSS (kriterijus –20 imp./h) ir atmosferos slėgio per 2002–2008 metų laikotarpį

**Fig. 3.14.** General efficiency of prognostic connection between HCRF (criterion –20 imp./h) and atmospheric pressure for the time interval 2002–2008

Tolimesnė duomenų analizė buvo atlikta pasirinkus kriterijus, kai KKSS mažėjo:  $\Delta n \geq -15$  imp./h;  $\Delta n \geq -20$  imp./h ir visais atvejais atmosferos slėgis vertintas, kai kriterijus buvo  $\Delta p \geq -4$  hPa. Gauti rezultatai pateikiami 3.12 lentelėje bei 3.15–3.16 paveiksluose. Daugiau analizės rezultatų galima rasti C priede (7–12 lentelės).

Analizuojant duomenis, kai buvo naudojami KKSS sumažėjimo  $-15$  imp./h ir  $-20$  imp./h kriterijai, ir esant atmosferos slėgio kriterijui gauti panašūs rezultatai. Tačiau, lyginant su rezultatais, gautais be slėgio kriterijaus, efektyvumai yra mažesni. Analizuojant 3.15–3.16 paveiksluose duomenis pastebėta, kad sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių didžiausias efektyvumas yra 8–9 h 63 % 2004 ir 2005 metais; 9–10 val. 70 % 2004 metais; 11–12 h yra 75 % 2004 metais; 12–13 h 65 % 2002 metais.

Analizuojant 3.16 paveikslą duomenis pastebėta, kad sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių didžiausias efektyvumas 8–9 h yra 60 % 2003 metais; 9–10 h 69 % 2004 metais; 11–12 h 67 % 2004 metais; 12–13 h 66 % 2002 ir 2004 metais. Sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių mažiausias efektyvumas 8–9 h yra 53 % 2007 ir 2008 metais; 52 % 9–10 h laiko intervale 2003 metais; 11–12 h 50 % ir 12–13 h 52 % 2007 metais.



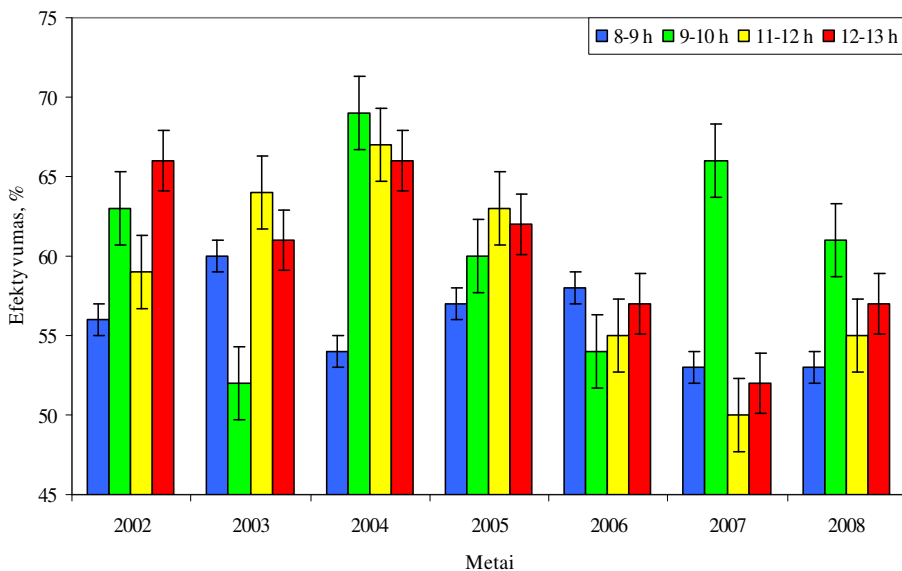
**3.15 pav.** Bendras sąryšio efektyvumas tarp KKSS (kriterijus  $-15$  imp./h) ir atmosferos slėgio (kriterijus  $-4$  hPa) per 2002–2008 metų laikotarpį

**Fig. 3.15.** General efficiency of prognostic connection between HCRF (criterion  $-15$  imp./h) and atmospheric pressure (criterion  $-4$  hPa) for the time interval 2002–2008

**3.12 lentelė.** Prognozės efektyvumas tarp KKSS ir atmosferos slėgio (kriterijus  $-4$  hPa) sumažėjimų  $1,2-1,6$  MeV energijų diapazone įvairiais laiko intervalais Vilniuje 2008 metais

**Table 3.12.** Efficiency of prognostic connection between HCRF and atmospheric pressure (criterion  $-4$  hPa) decrease in interval  $1.2-1.6$  MeV of energies at various time intervals in Vilnius in 2008

| Laiko intervalai,<br>h | $-15$ imp./h        |             |            | $-20$ imp./h        |             |            |
|------------------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|-------------|------------|
|                        | Bendras<br>skaičius | Realizacija |            | Bendras<br>skaičius | Realizacija |            |
|                        |                     | Skaičius    | %          |                     | Skaičius    | %          |
| 8–9                    | 70                  | 34          | $49 \pm 2$ | 49                  | 26          | $53 \pm 3$ |
| 9–10                   | 84                  | 49          | $58 \pm 5$ | 62                  | 38          | $61 \pm 4$ |
| 11–12                  | 79                  | 41          | $52 \pm 4$ | 47                  | 26          | $55 \pm 3$ |
| 12–13                  | 72                  | 37          | $51 \pm 3$ | 49                  | 28          | $57 \pm 4$ |
| Viso                   | 305                 | 161         | $53 \pm 3$ | 207                 | 118         | $57 \pm 3$ |



**3.16 pav.** Bendras sąryšio efektyvumas tarp KKSS (kriterijus  $-20$  imp./h) ir atmosferos slėgio (kriterijus  $-4$  hPa) per 2002–2008 metų laikotarpį

**Fig. 3.16.** General efficiency of prognostic connection between HCRF (criterion  $-20$  imp./h) and atmospheric pressure (criterion  $-4$  hPa) for the time interval 2002–2008

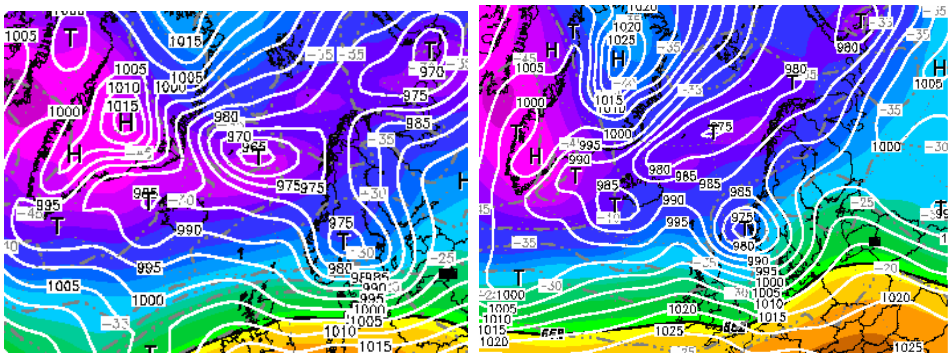
Sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių mažiausias efektyvumas 48 % yra 8–9 h 2007 metais bei 49 % – 2008 metais (3.12 lentelė); 9–10 h 54 % ir 55 % 2007 ir 2006 metais, atitinkamai. Sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių 11–12 h mažiausias efektyvumas yra 51 % ir 52 % 2007 ir 2008 metais, atitinkamai. 12–13 h mažiausias efektyvumas yra pastebėtas 2008 metais, kuris lygus 51 %.

Bendru atveju sąryšio tarp KKSS ir atmosferos slėgio pokyčių efektyvumas kinta nuo 52 iki 68 % per 2002–2008 metų laikotarpį, naudojant –15 imp./h kriterijų (3.18 pav.). Bendru atveju, naudojant –20 imp./h kriterijų sąryšio efektyvumas tarp nagrinėjamų parametrų kinta nuo 55 iki 64 % per 2002–2008 metų laikotarpį (3.19 pav.).

Remiantis duomenimis toliau darbe analizuojamos meteorologinės situacijos, kurios iliustruoja atmosferos slėgio sumažėjimą pagal KKSS variacijas. Žemiau pateikiami meteorologinių situacijų pavyzdžiai 2007 metų sausio (3.17–3.19 pav.) ir kovo mėnesiais (3.20–3.22 pav.).

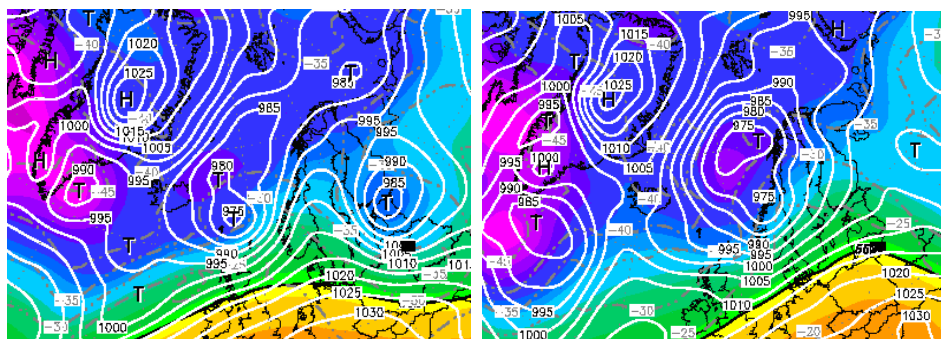
Atmosferos slėgio sumažėjimą pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas iliustruoja 2007 m. sausio 13–19 dienomis (3.17–3.19 pav.) sinoptinės situacijos. 2007 metais sausio 13 d. 12–13 h laiko intervale buvo užregistruotas –25 imp./h KKSS mažėjimas, kai ciklonas formavosi prie Niūfaundlendo. Sausio 14 dieną 11–12 h buvo užregistruotas –44 imp./h KKSS sumažėjimas (3.17 pav.); sausio 15 dieną buvo užregistruotas –32 imp./h KKSS mažėjimas, kuris patvirtino ciklono atslinkimą po keturių parų (3.18 pav.).

Sausio 16 dieną buvo užregistruotas –20 imp./h kietosios kosminės spinduliuotės srauto sumažėjimas. Visi šie KKSS mažėjimų signalai prognozavo žemo slėgio (976 hPa) formavimąsi Vilniuje po šešių parų, t. y. sausio 19 dieną. Priartėjus ciklonui prie žemyno, jame slėgis dar labiau sumažėjo ir susidarė du centrai. Be to, ciklono su dviem centrais, izobaros susiliejo su kitu ciklonu, todėl ties stebėjimo tašku susidarė dviejų ciklonų masyvas (3.19 pav.).

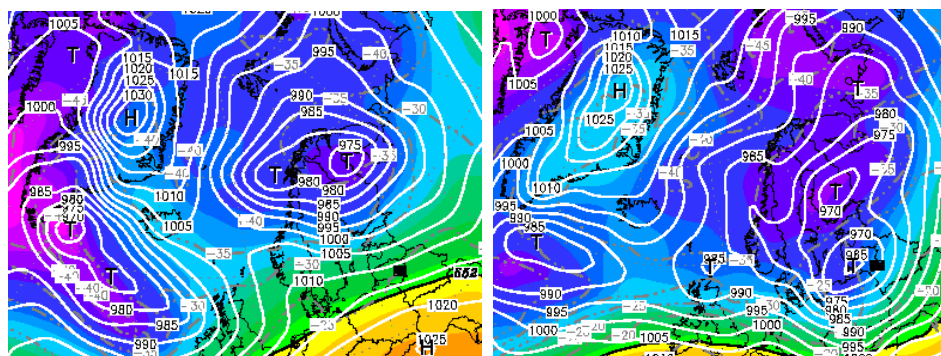


3.17 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. sausio 13 ir 14 d.

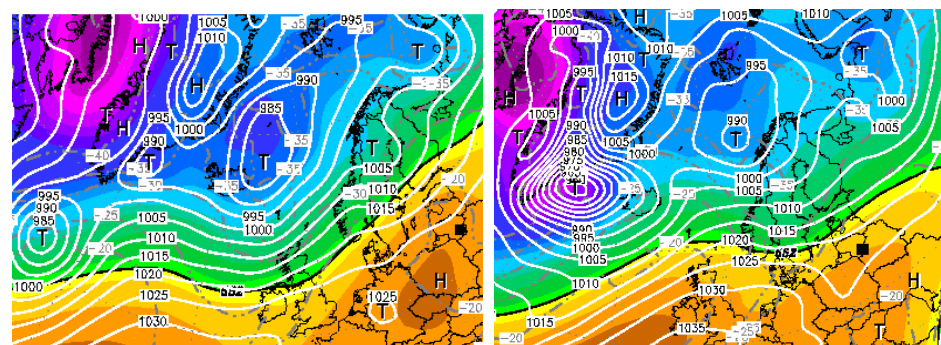
Fig. 3.17. Synoptic situations of atmospheric pressure on 13 and 14 January 2007



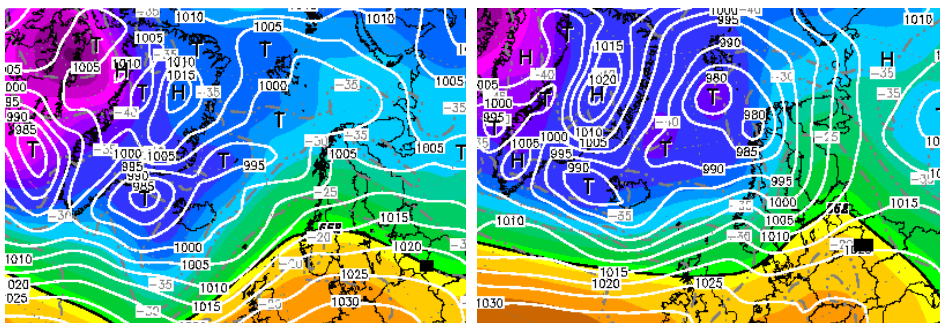
**3.18 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. sausio 15 ir 16 d.  
**Fig. 3.18.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 15 and 16 January 2007



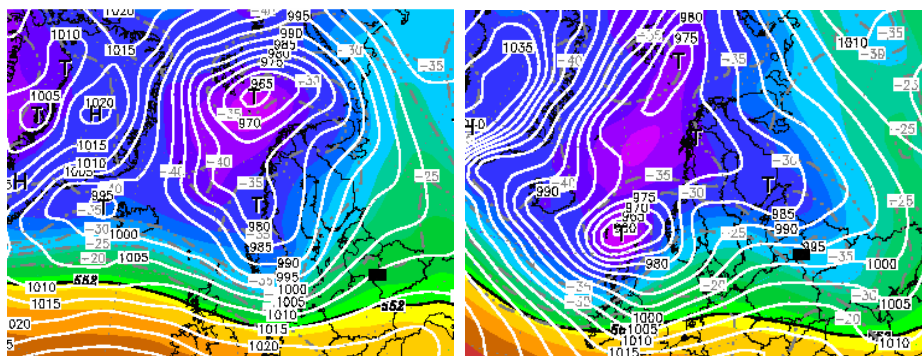
**3.19 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. sausio 17 ir 19 d.  
**Fig. 3.19.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 17 and 19 January 2007



**3.20 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. kovo 13 ir 14 d.  
**Fig. 3.20.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 13 and 14 March 2007



**3.21 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. kovo 15 ir 16 d.  
**Fig. 3.21.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 15 and 16 March 2007



**3.22 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. kovo 17 ir 18 d.  
**Fig. 3.22.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 17 and 18 March 2007

Atmosferos slėgio sumažėjimą pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto pokyčius iliustruoja 2007 m. kovo 13–18 dienomis sinoptinės situacijos (3.20–3.22 pav.).

Pirmasis kietosios kosminės spinduliuotės srauto sumažėjimo  $-22 \text{ imp./h}$  signalas užregistruotas 2007 m. kovo 13 dieną, t. y. prieš šešias paras, kai ciklonas susiformavo prie Niūfaundlendo (3.20 pav.). Tuo metu Vilniuje vyraavo aukšto slėgio sritis. 2007 m. kovo 14 d. užregistruotas  $-38 \text{ imp./h}$  KKSS sumažėjimas; kovo 15 d. buvo užregistruotas  $-18 \text{ imp./h}$  KKSS mažėjimas, kuris patvirtino ciklono atslinkimą po keturių parų (3.21 pav.). Tuo tarpu, per parą ties Islandija ciklonas sudarė didelę žemo slėgio sritį su keturiais centrais, kuris palaipsniui išstūmė silpną anticikloną.

Visi šie užregistruoti kietosios kosminės spinduliuotės srauto sumažėjimai prognozavo žemo slėgio (994 hPa) formavimąsi Vilniuje po šešių parų (3.22 pav.). Be to, ciklonas kartu su savimi atnešė šalto oro srautą nuo arktikos.

Kitų metų sinoptiniai žemėlapiai, kurie iliustruoja atmosferos slėgio sumažėjimą pagal KKSS variacijas, pateikiami D priede (1–6 pav.).

### **3.6. Atmosferos slėgio padidėjimo prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas**

Per pastaruosius keletą dešimtmečių mokslininkai (Treidl *et al.* 1980; Wiedenmann *et al.* 2002; Lupo 1997; Lupo *et al.* 1998; Barriopedro *et al.* 2006) ekstensyviai nagrinėjo blokuojančius anticiklonus ir tai leido geriau suprasti jų dinamiką. Atmosferos blokavimas yra didelio masto vidutinės platumos reiškiny, kuris sukelia dideles klimato anomalijas virš įvairių regionų Šiaurės Atlante. Blokuojantys anticiklonai yra didelio masto reiškiniai, kurie lemia vidutinių platumų orų sąlygas ir klimatą virš teritorijų, kurios yra padengtos. Jie taip pat lemia ciklonų judėjimo kryptį.

Iki šiol buvo analizuojamas sąryšis tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio sumažėjimų. Prognozės efektyvumas yra iki 70 %. Galima teigti, kad metodo taikymas duoda nepasitvirtinusių 30 % atvejų. Tai lemia natūralūs ir dirbtiniai veiksniai, vienas iš jų blokuojantys anticiklonai.

Atmosferos slėgio padidėjimų pagal kietosios kosminės spinduliuotės srautą prognozė atlikta pasirinkus antrame skyriuje minėtus kriterijus. Gautų rezultatų pavyzdžiai pateikiami 3.13 ir 3.14 lentelėse bei 3.23 paveiksle. Daugiau analizės rezultatų galima rasti C priede (13–16 lentelės).

Atlikus analizę pastebėta, kad padidėjus KKSS 40 imp./h ir daugiau, atmosferos slėgis didėja ir prognozuojamas po 4–5 parų anticiklono atslinkimas netoli Vilniaus. Padidėjus KKSS 50 imp./h ir daugiau, atmosferos slėgis didėja ir prognozuojamas po 2–3 parų anticiklono atslinkimas.

Iš 3.23 paveikslo matoma, kad prognozės efektyvumas yra 67 % 2002 metais ir 57 % 2003 metais. Atskirais atvejais 2002 ir 2003 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis nei vidurkis. Pavyzdžiui, didžiausias prognozės efektyvumas buvo 2002 metų kovo mėn. 100 %, balandžio mėn. – 80 %. 2003 metais liepos mėn. prognozės efektyvumas yra 78 %, o gegužės – 75 % (3.25 lentelė). Mažiausias efektyvumas buvo 2002 metų liepos (29 %) ir vasario (33 %) mėnesiais, o 2003 metais pastebėta rugsėjo (38 %) ir kovo (40 %) mėnesiais.

Iš 3.23 paveikslo matoma, kad prognozės efektyvumas yra 60 % 2004 metais ir 53 % 2005 metais. Atskirais atvejais 2004 ir 2005 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis nei vidurkis. Didžiausias prognozės efektyvumas buvo 2004 metų rugsėjo mėn. 100 %, gruodžio mėn. – 92 %. 2005 metų lapkričio mėn. prognozės efektyvumas yra 67 %, o gegužės mėn. – 64 %. Mažiausias efektyvumas buvo 38 % balandžio mėn. ir 43 % liepos mėn. per 2004 metus, o

2005 metais – balandžio (33 %) ir rugsėjo (40 %) mėnesiais (C priedas 13–14 lentelės).

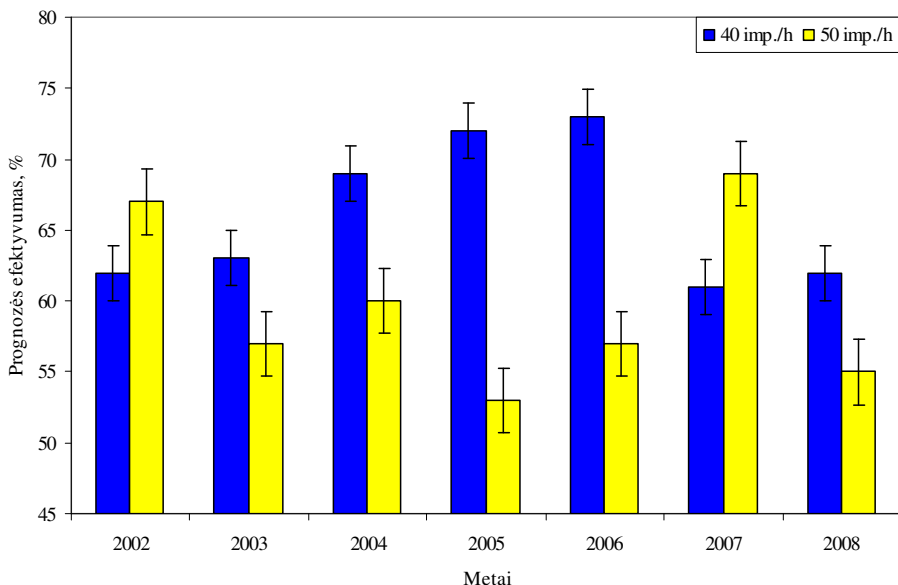
**3.13 lentelė.** Prognozės efektyvumas tarp KKSS (kriterijus 50 imp./h) ir atmosferos slėgio padidėjimų po 2–3 parų 2006 ir 2008 metais

**Table 3.13.** The efficiency connection between the HCRF increase (criterion 50 imp./h) and an increase in atmospheric pressure in 2–3 days in 2006–2008

| Mėnesiai  | 2006                |                          | 2007                |                          | 2008                |                          |
|-----------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
|           | Bendras<br>skaičius | Realizacijos<br>skaičius | Bendras<br>skaičius | Realizacijos<br>skaičius | Bendras<br>skaičius | Realizacijos<br>skaičius |
| Sausis    | 6                   | 5                        | 7                   | 6                        | 9                   | 5                        |
| Vasaris   | 6                   | 4                        | 4                   | 4                        | 10                  | 5                        |
| Kovas     | 7                   | 5                        | 3                   | 2                        | 6                   | 4                        |
| Balandis  | 6                   | 2                        | 7                   | 4                        | 5                   | 3                        |
| Gegužė    | 6                   | 2                        | 3                   | 3                        | 7                   | 3                        |
| Birželis  | 5                   | 4                        | 5                   | 3                        | 4                   | 2                        |
| Liepa     | 2                   | 1                        | 6                   | 4                        | 6                   | 4                        |
| Rugpjūtis | -                   | –                        | 7                   | 2                        | 5                   | 2                        |
| Rugsėjis  | -                   | –                        | 7                   | 6                        | 6                   | 3                        |
| Spalis    | 6                   | 3                        | 7                   | 5                        | 8                   | 5                        |
| Lapkritis | 2                   | 1                        | 9                   | 5                        | –                   | –                        |
| Gruodis   | 10                  | 5                        | 10                  | 8                        | –                   | –                        |
| Viso      | 56                  | 32                       | 75                  | 52                       | 66                  | 36                       |
| Viso, %   | 100                 | 57                       | 100                 | 69                       | 100                 | 55                       |

Iš 3.13 lentelės matoma, kad prognozės efektyvumas yra 57 % 2006 metais, 71% 2007 metais bei 55 % 2008 metais. Atskirais atvejais 2006–2008 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis už vidurkį.

Didžiausias prognozės efektyvumas buvo 2006 metų sausio mėn. 83 %, birželio mėn. – 80 %. 2007 metų vasario ir gegužės mėn. prognozės efektyvumas yra 100 %, o sausio, rugsėjo mėn. – 86 %. 2008 metais didžiausias efektyvumas pastebėtas kovo bei liepos mėn. – 67 %. Mažiausias efektyvumas buvo 33 % balandžio ir gegužės mėn. per 2006 metus. 2007 ir 2008 metais mažiausias efektyvumas pastebėtas rugpjūčio mėnesį, atitinkamai 29 % ir 40 % (3.13 lentelė).



**3.23 pav.** Bendras sąryšio efektyvumas tarp KKSS (kriterijai 40 imp./h ir 50 imp./h) ir atmosferos slėgio padidėjimų per 2002–2008 metų laikotarpį  
**Fig. 3.23.** General efficiency of prognostic connection obtained by the increase of both HCRF values (criteria 40imp./h and 50 imp./h) and atmospheric pressure for time interval 2002–2008

Lyginant 3.23 paveikslo duomenų rezultatus pastebėta, kad didžiausias prognozės efektyvumas po 2–3 parų buvo 2002, 2004 ir 2007 metais.

Toliau darbe analizuojami duomenys, kai naudojamas KKSS padidėjimo kriterijus 40 imp./h (C priedas, 15–16 lentelės). Analizuojant 3.23 paveikslo duomenis matoma, kad prognozės efektyvumas yra 62 % ir 63 % 2002 bei 2003 metais atitinkamai. Atskirais atvejais 2002 ir 2003 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis nei vidurkis. Didžiausias 2002 metais efektyvumas buvo spalio (100 %) ir rugsėjo (86 %) mėnesiais, o mažiausias – vasario ir liepos (33 %) bei sausio ir balandžio (40 %) mėnesiais. Didžiausias efektyvumas 2003 metais pastebėtas vasario (89 %) ir liepos (86 %) mėnesiais, o mažiausias – birželio (14 %) ir kovo (45 %) mėnesiais (C priedas).

Analizuojant 3.23 paveikslo duomenis matoma, kad prognozės efektyvumas yra 69 % ir 72 % 2004 bei 2005 metais atitinkamai. Atskirais atvejais 2004 ir 2005 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis nei vidurkis. Didžiausias 2004 metais efektyvumas buvo sausio (88 %) ir liepos (78 %) mėnesiais, o mažiausias – vasario (40 %) bei kovo (50 %) mėnesiais. Didžiausias efektyvumas

2005 metais pastebėtas sausio (100 %) ir gruodžio (86 %) mėnesiai, o mažiausias – kovo mėnesį – 40 % (C priedas, 15–16 lentelės).

Analizuojant 3.14 lentelės duomenis matoma, kad prognozės efektyvumas yra 73 %, 61 % ir 62 % 2006, 2007 bei 2008 metais atitinkamai. Atskirais atvejais 2006, 2007 ir 2008 metais prognozės efektyvumas buvo didesnis už vidurkį. Didžiausias 2006 metais efektyvumas buvo gegužės ir gruodžio mėn. 100 %, sausio mėn. 88 %, o mažiausias – kovo ir spalio (50 %) mėnesiai.

Didžiausias efektyvumas 2007 metais pastebėtas sausio, gegužės bei gruodžio (100 %) mėnesiai, o mažiausias – kovo (29 %) ir rugsėjo (38 %) mėnesiai. Didžiausias efektyvumas 2008 metais naudojant 40 imp./h KKSS didėjimo kriterijų pastebėtas rugsėjo mėn. (75 %), balandžio mėn. (71 %), o mažiausias – rugpjūčio ir spalio (50 %) mėnesiai (3.14 lentelė).

**3.14 lentelė.** Prognozės efektyvumas tarp KKSS (kriterijus 40 imp./h) ir atmosferos slėgio padidėjimų po 4–5 parų 2006–2008 metais

**Table 3.14.** The efficiency connection between the HCRF increase (criterion 40 imp./h) and an increase in atmospheric pressure in 4–5 days in 2006–2008

| Mėnesiai  | 2006             |                       | 2007             |                       | 2008             |                       |
|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
|           | Bendras skaičius | Realizacijos skaičius | Bendras skaičius | Realizacijos skaičius | Bendras skaičius | Realizacijos skaičius |
| Sausis    | 8                | 7                     | 5                | 5                     | 6                | 4                     |
| Vasaris   | 6                | 5                     | 6                | 4                     | 5                | 3                     |
| Kovas     | 6                | 3                     | 7                | 2                     | 9                | 6                     |
| Balandis  | 5                | 4                     | 9                | 6                     | 7                | 5                     |
| Gegužė    | 3                | 3                     | 1                | 1                     | 6                | 4                     |
| Birželis  | 5                | 3                     | 7                | 3                     | 5                | 3                     |
| Liepa     | 2                | 0                     | 5                | 4                     | 7                | 4                     |
| Rugpjūtis | –                | –                     | 10               | 5                     | 6                | 3                     |
| Rugsėjis  | –                | –                     | 8                | 3                     | 8                | 6                     |
| Spalis    | 4                | 2                     | 5                | 3                     | 10               | 5                     |
| Lapkritis | 8                | 6                     | 5                | 4                     | –                | –                     |
| Gruodis   | 4                | 4                     | 4                | 4                     | –                | –                     |
| Viso      | 51               | 37                    | 72               | 44                    | 69               | 43                    |
| Viso, %   | 100              | 73                    | 100              | 61                    | 100              | 62                    |

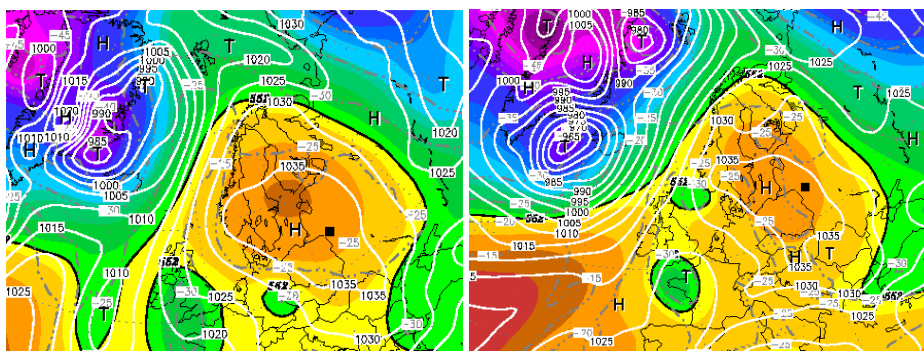
Bendru atveju, analizuojant 3.23 paveikslą duomenis pastebėta, kad naudojant 40 imp./h ir 50 imp./h KKSS didėjimo kriterijus sąryšio prognozės efektyvumas kito nuo 61 iki 73 % ir nuo 53 % iki 69 %, atitinkamai per 2002–2008 metus. Vadinasi, prognozuojant atmosferos slėgio padidėjimus pagal KKSS variacijas, reikia taikyti 40 imp./h KKSS didėjimo kriterijų, kadangi gauti didesni efektyvumai.

Remiantis duomenimis toliau darbe analizuojamos meteorologinės situacijos, kurios iliustruoja atmosferos slėgio padidėjimą pagal KKSS variacijas (3.24–3.29 pav.). Labai įdomūs atvejai pastebėti 2006 metų sausio mėnesį. Prognozuojant atmosferos slėgio padidėjimą sausio mėnesį prognozės efektyvumas siekė 83 % (kriterijus 40 imp./h) ir 88 % (kriterijus 50 imp./h) įvairiuose laiko intervaluose.

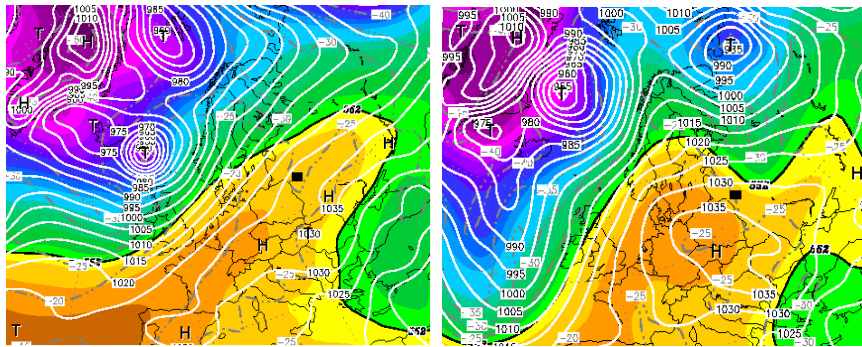
Atmosferos slėgio padidėjimą pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto pokyčius iliustruoja 2006 m. sausio 8–15 dienomis blokuojančio anticiklono sinoptinės situacijos (3.24–3.26 pav.). Paveiksluose matoma stacionaraus anticiklono įtaka Europai. Jis blokavo vakarų krypties pernašą į regioną. Todėl šiomis dienomis visoje Europoje buvo užfiksuota aukštesnė sausio temperatūra lyginant su vidutine daugiamete.

Pirmieji kietosios kosminės spinduliuotės srauto padidėjimai 17 imp./h, 27 imp./h ir 35 imp./h 14–15 h, 16–17 h ir 18–19 h laiko intervaluose atitinkamai buvo užregistruoti 2006 m. sausio 8 d., tuo metu kai atmosferos slėgis mėnesio pradžioje pasiekė maksimumą (1040 hPa). Užregistruoti KKSS signalai patvirtino anticiklono buvimą 2–3 dienas toje pačioje vietoje (3.24 pav.).

Sausio 10–11 dienomis prie Skandinavijos priartėjo žemo slėgio sritis su giliu ciklonu. Tačiau ciklonas išstumti anticiklono nesugebėjo. Sausio 13 d. užregistruoti KKSS padidėjimai 21 imp./h, 49 imp./h ir 29 imp./h 14–17 h laiko intervale patvirtino esančio anticiklono buvimą virš Europos (3.25 pav.).

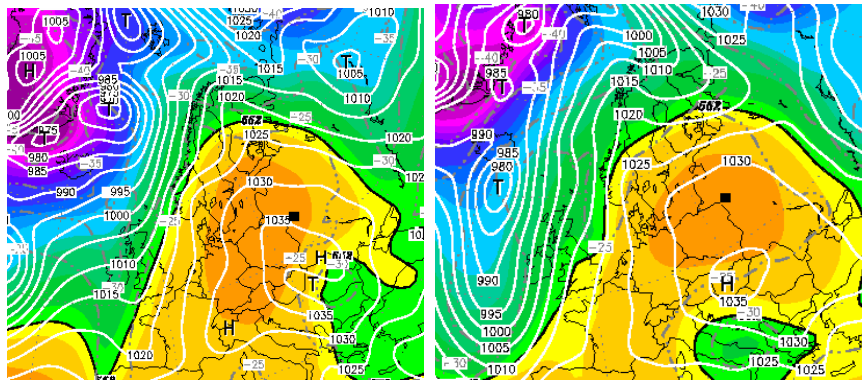


**3.24 pav.** Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2006 m. sausio 8 d. ir 9 d.  
**Fig. 3.24.** Synoptic situations of atmospheric pressure on 8 and 9 January 2006



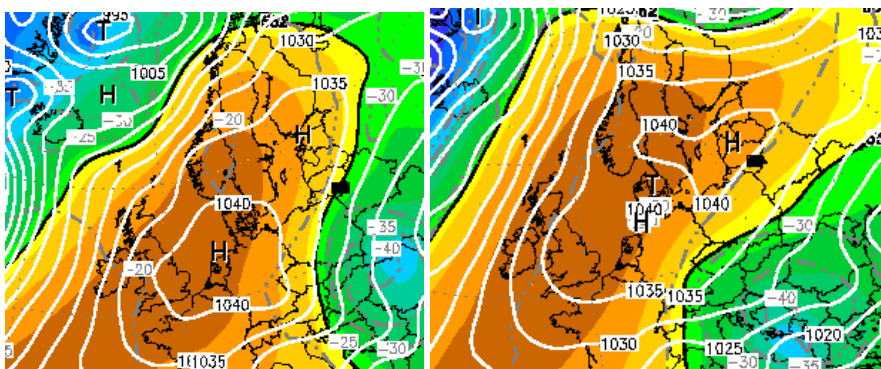
3.25 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2006 m. sausio 11 ir 13 d.

Fig. 3.25. Synoptic situations of atmospheric pressure on 11 and 13 January 2006



3.26 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2006 m. sausio 14 ir 15 d.

Fig. 3.26. Synoptic situations of atmospheric pressure on 14 and 15 January 2006

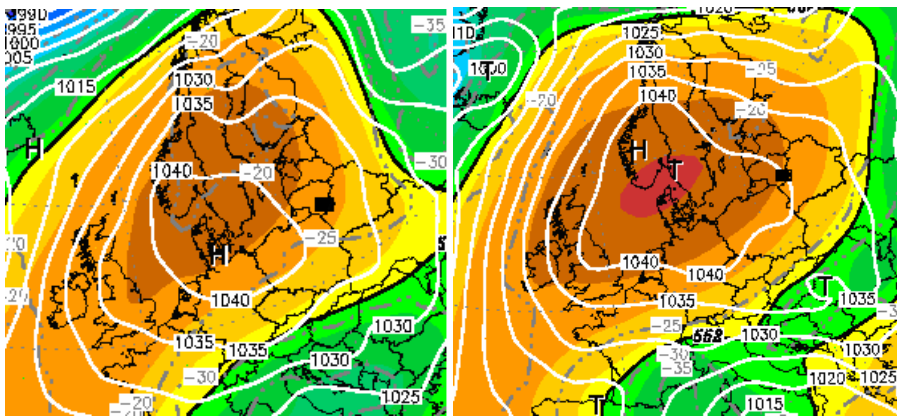


3.27 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. gruodžio 14 ir 15 d.

Fig. 3.27. Synoptic situations of atmospheric pressure on 14 and 15 December 2007

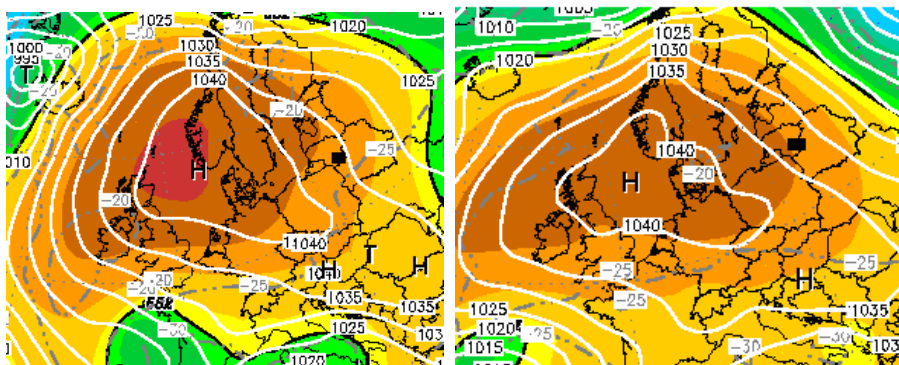
Šio mėnesio pabaigoje vieną blokuojantį anticikloną pakeitė kitas – Sibiro anticiklonas. Apie jo atslinkimą informavo ir užregistruoti kietosios kosminės spinduliuotės srauto padidėjimai 30 ir 43 imp./h atitinkamai 16–17 ir 18–19 h laiko intervaluose 2006 m. sausio 20 dieną. Šiuo atveju buvo užfiksuota temperatūros ir kritulių anomalijos Europoje bei europinėje Rusijoje. Sibiro anticiklonas blokavo zoninę pernašą, todėl susidarė palankios sąlygos šalto arktinio oro įsiveržimams į pietinės Europos regionus.

Atmosferos slėgio padidėjimą pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas iliustruoja 2007 m. gruodžio 12–19 dienomis (3.27–3.29 pav.) blokuojančio anticiklono sinoptinės situacijos.



3.28 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. gruodžio 16 ir 17 d.

Fig. 3.28. Synoptic situations of atmospheric pressure on 16 and 17 December 2007



3.29 pav. Atmosferos slėgio sinoptinės situacijos 2007 m. gruodžio 18 ir 19 d.

Fig. 3.29. Synoptic situations of atmospheric pressure on 18 and 19 December 2007

Pirmieji kietosios kosminės spinduliuotės srauto padidėjimai 45 imp./h ir 21 imp./h 17–18 h ir 18–19 h laiko intervaluose atitinkamai buvo užregistruoti 2007 m. gruodžio 10 d., tuo metu Vilnius buvo ciklono įtakoje. Užregistruoti srauto padidėjimai patvirtino anticiklono atslinkimą nuo Azorų po 4–5 parų (3.27 pav.). Atslinkęs anticiklonas iš pietų visą Europą padalino į dvi dalis, nušėdamas šilumą iki Skandinavijos pusiasalio.

Gruodžio 17 dieną 15–16 h ir 16–17 h laiko intervaluose buvo užregistruoti 30 imp./h KKSS padidėjimai (3.28 pav.). Tuo metu Vilniuje buvo užfiksuota didžiausia atmosferos slėgio reikšmė – 1039 hPa. Gruodžio 19 dieną buvo užregistruoti 16 imp./h ir 36 imp./h KKSS padidėjimai 15–16 h ir 17–18 h, atitinkamai, kurie patvirtino anticiklono buvimą virš Europos (3.29 pav.). Atslinkęs blokuojantis anticiklonas nuo pietų blokavo vakarų pernašą. Todėl visoje Europoje buvo užregistruota aukštesnė temperatūra už daugiametę vidutinę temperatūrą.

Kitų metų sinoptiniai žemėlapiai, kurie iliustruoja atmosferos slėgio padidėjimą pagal KKSS variacijas, pateikiami D priede (7–15 pav.).

### 3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Remiantis Kolmogorovo–Smirnovu testu nustatyta, kad kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių pasiskirstymas artimas normaliniam skirstiniui.
2. Nustatyta, kad koreliacijos koeficientų tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto mėnesių vidurkių 1,2–1,6 MeV energijų diapazone per 2002–2008 metų laikotarpį reikšmės kinta nuo –0,14 iki –0,91. Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai patvirtina, kad tarp nagrinėjamų dydžių egzistuoja atvirkštinė koreliacija.
3. Nustatyta, kad regresijos tiesės tarp nagrinėjamų dydžių pasvirimo kampas skiriasi priklausomai nuo metų sezono: rudens ir pavasario sezonais regresijos tiesės pasvirimo kampas yra beveik vienodas, o žiemos ir vasaros sezonų tiesės pasvirimo kampas skiriasi.
4. Kietosios kosminės spinduliuotės srautas kinta skirtingai ir jo reikšmės tuo pačiu metu mažėja arba didėja visuose energijų diapazonuose: kietosios kosminės spinduliuotės srauto mėnesių vidurkių reikšmių kaita priklauso nuo metų sezonų per 2002–2008 metų laikotarpį.
5. Nustatyta, kad kietosios kosminės spinduliuotės srauto (kriterijus –15 imp./h) ir atmosferos slėgio pokyčių sąryšio efektyvumas per

2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 63 iki 69 %. Atsižvelgiant į atmosferos slėgio kriterijų, sąryšio efektyvumas sumažėjo 8 %.

6. Nustatyta, kad kietosios kosminės spinduliuotės srauto (kriterijus –20 imp./h) ir atmosferos slėgio pokyčių sąryšio bendrasis efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 64 iki 70 %. Įvertinus atmosferos slėgio kriterijų, sąryšio efektyvumas sumažėjo 12 %.
7. Nustatyta, kad taikant 40 imp./h ir daugiau kriterijų kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio padidėjimų sąryšio efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 61 iki 73 %.
8. Nustatyta, kad taikant 50 imp./h ir daugiau kriterijų kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio padidėjimų sąryšio efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 53 iki 69 %.



---

## Atmosferinio poveikio miuonų sklaidai matematinis modeliavimas

Šiame skyriuje pateikiamas atmosferinio poveikio miuonų sklaidai matematinis modeliavimas. Matematiniam modeliavimui naudotos formulės leidžia įvertinti ryšį tarp miuoninės komponentės ir atmosferos slėgio bei temperatūros poveikio, įvedant slėgio ir temperatūrinį koeficientus. Skyriuje pateikiamas apibendrintas atmosferinio poveikio miuonų sklaidai modeliavimas naudojant trupmenines išvestines, aprašančias atmosferos slėgio ir temperatūros poveikį miuoninei komponentei.

Žinoma, kad ties žemės paviršiumi matavimo prietaisai daugiausiai fiksuoja kosminės spinduliuotės antrinę komponentę. Antrinę kosminę spinduliuotę sudaro pionai, miuonai, neutronai ir elektronai (Knapp *et al.* 2003; Zatsepin, Roganova 2009). Dėl sugerties atmosferoje ties žemės paviršiumi antrinių dalelių kiekis laipsniškai nustoja didėti (Ziegler 1998; Grieder 2001; Dorman 2004; Gaisser *et al.* 2006; Beatty, Westerhoff 2009). Dauguma antrinių dalelių skyla spontaniškai (pionų gyvavimo laikas yra nanosekundės eilės, o miuonų – keletas mikrosekundžių) arba praranda savo energiją dar nepasiekusios žemės paviršiaus, t. y. išnyksta pakopoje. Didžiausias šių dalelių tankis pakopoje yra 15 km aukštyje.

Miuonai turi didelę energiją, iš tiesų žymiai didesnę už rimties masės  $m_\mu c^2$ . Miuonų rimties masė  $m_\mu$  yra 105,6 MeV/c<sup>2</sup>. Kosminės spinduliuotės miuoninės komponentės vidutinė energija jūros lygyje yra apie 2 GeV.

Iš Einšteino reliatyvumo teorijos yra žinomas ryšys

$$E_\mu = \gamma m_\mu c^2, \quad (4.1)$$

$$E_\mu = 2 \text{ GeV} = 2000 \text{ MeV} = \gamma m_\mu c^2, \quad (4.2)$$

čia  $c$  – šviesos greitis;  $m_\mu$  – miuonų rimties masė;  $\gamma$  – Lorencio faktorius.

Žinant  $m_\mu$  vertę, (4.2) formulę galima išreikšti taip:

$$2000 \text{ MeV} = \gamma (105,6 \text{ MeV} / c^2) c^2. \quad (4.3)$$

Pertvarkius (4.3) formulę, gaunama

$$\gamma = \frac{2000 \text{ MeV}}{105,6 \text{ MeV}} = 20. \quad (4.4)$$

Esant tokiai didelei  $\gamma$  reikšmei, miuonas skris, esant greičiui  $v$  artimui šviesos greičiui:

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0,9987. \quad (4.5)$$

Tai reiškia, kad miuonai turintys energiją 2 GeV, skrieja greičiu  $v = 2,996 \cdot 10^8$  m/s ir gali būti laikomi ultrareliatyvistinėmis dalelėmis.

Kosminės spinduliuotės miuoninė komponentė kinta keičiantis atmosferos sąlygoms ir yra žinoma kaip „atmosferinis poveikis“. Svarbiausi šio poveikio šaltiniai – atmosferos slėgio ir temperatūros pokyčiai.

Kadangi atmosferos slėgis didėja, kosminė spinduliuotė turi prasiskverbti pro tankesnę atmosferą, todėl sumažėja kosminės spinduliuotės intensyvumas jūros lygyje. Žinoma (Dorman 1974), kad antrinės kosminės spinduliuotės intensyvumas  $I$  kinta keičiantis atmosferos slėgiui  $P$ :

$$\frac{dI(P)}{dP} = -\mu(P)I(P), \quad (4.6)$$

čia  $\mu(P)$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas. Bendras (4.6) lygties sprendinys yra toks

$$I(P) = C_0 e^{\int \mu(P) dP}, \quad (4.7)$$

čia  $C_0$  – integravimo konstanta randama iš sąlygos, kai esant tam tikram slėgiui žinomas dalelių srauto intensyvumas. Paprastai jis žymimas  $I'_0$ . Kai  $\mu(P) = \text{const}$ , t. y. nepriklauso nuo atmosferos slėgio  $P$  (4.7), lygtis bus tokia

$$I(P) = I'_0 e^{-\mu P}. \quad (4.8)$$

Lygtis (4.8) gali būti išreikšta ir taip (Famoso 2004):

$$I(P) = I_0 e^{-\mu(P-P_0)}. \quad (4.9)$$

čia  $P$  – atmosferos slėgis;  $P_0$  – vidutinis atmosferos slėgis stebėjimo aukštyje;  $I$  ir  $I_0$  – intensyvumo reikšmės.

Logaritnavus (4.9) lygtį, gaunama tiesinė priklausomybė nuo  $\ln(I(P)/I_0)$ , kurią patogiu naudoti regresinėje analizėje

$$\ln \frac{I(P)}{I_0} = -\mu(P - P_0). \quad (4.10)$$

Empiriškai slėgio koeficientas  $\beta_P$  gali būti nustatytas naudojant tiesinės koreliacijos koeficientus tarp kosminės spinduliuotės intensyvumo  $I_i$  ir atmosferos slėgio  $P_i$ .

$$\beta_P = r \frac{\sigma_I}{\sigma_P}, \quad (4.11)$$

čia  $\sigma_I^2 = \sum_{i=1}^N (I_i - I_0)^2 / N$ ;  $\sigma_P^2 = \sum_{i=1}^N (P_i - P_0)^2 / N$ ;  $I_0 = \sum_{i=1}^N I_i / N$ ;  $P_0 = \sum_{i=1}^N P_i / N$ . Atitinkamai, koreliacijos koeficientas  $r = \sum_{i=1}^N (I_i - I_0)(P_i - P_0) / \sigma_I \sigma_P N$ .

Santykinė tiesinės koreliacijos koeficiento paklaida gali būti apskaičiuojama pagal išraišką:

$$\frac{\Delta \beta_P}{\beta_P} = \pm \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1-r^2}{N-3}}. \quad (4.12)$$

Kosminės spinduliuotės miuoninė komponentė priklauso ne tik nuo slėgio pokyčių, bet ir nuo temperatūros. Antrinės kosminės spinduliuotės intensyvumas  $I$  kinta keičiantis atmosferos temperatūrai  $T$ :

$$\frac{dI(T)}{dT} = -\alpha(T)I(T), \quad (4.13)$$

čia  $\alpha(T)$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas. Bendras (4.13) lygties sprendinys yra toks

$$I(T) = C_0 e^{\int \alpha(T) dT}, \quad (4.14)$$

čia  $C_0$  – integravimo konstanta randama iš sąlygos, kai esant tam tikram slėgiui žinomas dalelių srauto intensyvumas. Paprastai jis žymimas  $I'_0$ . Kai  $\alpha(T) = \text{const}$ , t. y. nepriklauso nuo atmosferos temperatūros  $T$  (4.7), lygtis bus tokia

$$I(T) = I'_0 e^{-\alpha T}. \quad (4.15)$$

Lygtis (4.15) gali būti išreikšta ir taip:

$$I(P) = I_0 e^{-\alpha(P-P_0)}. \quad (4.16)$$

čia  $T$  – atmosferos temperatūra;  $T_0$  – vidutinė atmosferos temperatūra stebėjimo aukštyje;  $I$  ir  $I_0$  – intensyvumo reikšmės.

Logaritmavus (4.16) lygtį, gaunama tiesinė priklausomybė nuo  $\ln(I(T)/I_0)$ , kurią patogiu naudoti regresinėje analizėje

$$\ln \frac{I(T)}{I_0} = -\alpha(T - T_0). \quad (4.17)$$

Empiriškai temperatūrinis koeficientas  $\beta_T$  gali būti nustatytas naudojant tiesinės koreliacijos koeficientus tarp kosminės spinduliuotės intensyvumo  $I_i$  ir atmosferos temperatūros  $T_i$ .

$$\beta_T = r \frac{\sigma_I}{\sigma_T}. \quad (4.18)$$

Kadangi slėgis ir temperatūra yra tarpusavyje susiję dydžiai, toliau pateikiamos lygtys, aprašančios miuonų sklaidą atmosferoje įvertinus abiejų šių reiškinų poveikį. Temperatūros ir atmosferos slėgio įtaka santykiniam dalelių srauto intensyvumui, kai dalelės praeina  $x - x_0$  storio atmosferos sluoksnį, gali būti išreikšta bendresne lygtimi, įvertinančia atmosferos slėgio ir temperatūros poveikį

$$\frac{\delta I(x_0, \theta, P)}{I(x_0, \theta, P)} = \int_{x_0}^x \beta(\xi, x_0, x, P) \delta P(\xi) d\xi + \int_{x_0}^x \alpha(\xi, x_0, x, T) \delta T(\xi) d\xi, \quad (4.19)$$

čia  $\alpha(\xi, x_0, x, T)$  ir  $\beta(\xi, x_0, x, P)$  yra koeficientai, įvertinantys temperatūros ir atmosferos slėgio įtaką dalelių srautui, atitinkamai priklausantys nuo aukščio, slėgio ir temperatūros. (4.19) lygtyje  $\delta I(x, \theta, P) = I(x_0, T, P) - I(x, T, P)$ ,  $\delta P(\xi) = P(\xi) - P(x_0)$ ,  $\delta T(\xi) = T(\xi) - T(x_0)$ . Kaip matome, (4.19) lygtis bendruoju atveju yra netiesinė: tiek atmosferos sluoksnio storio, tiek slėgio ir temperatūros pokyčių atžvilgiu.

Dalinai integravus (4.19) lygtį, gaunama tokia išraiška

$$\begin{aligned} \frac{\delta I(x_0, \theta, P)}{I(x_0, \theta, P)} &= \int_{x_0}^x P(\xi) \beta(\xi, x_0, x, P) d\xi - P(x_0) \int_{x_0}^x \mu(\xi, x_0, x, P) d\xi + \\ &\int_{x_0}^x T(\xi) \alpha(\xi, x_0, x, T) d\xi - T(x_0) \int_{x_0}^x \alpha(\xi, x_0, x, T) d\xi. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Paprastesnis tiesinis (4.19) lygties variantas atmosferos slėgio ir temperatūros pokyčių atžvilgiu yra toks

$$\frac{\delta I(x, \theta, P)}{I(x_0, \theta, P)} = \int_{x_0}^x \beta(\xi, x_0, x) f_P(\xi) d\xi + \int_{x_0}^x \alpha(\xi, x_0, x) f_T(\xi) d\xi, \quad (4.21)$$

čia  $\alpha(\xi, x_0, x)$  ir  $\beta(\xi, x_0, x)$  nariai nepriklauso nuo temperatūros ir atmosferos slėgio, atitinkamai  $f_P(\xi)$  ir  $f_T(\xi)$  funkcijų prasmė tokia pati kaip ir  $\delta P(\xi)$  ir  $\delta T(\xi)$  funkcijų (4.19) išraiškoje.

Dorman (2004) darbe pateikia kitokias sudėtingesnes temperatūrinio ir slėgio koeficientų išraiškas, kuriose atsižvelgta į pionų pradinę energiją ir jų skilimo aukštį:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\delta N_\mu(h_0, Z)}{N_\mu(h_0, Z)} \right|_{temp.} &= \int_{E_{\pi min}}^{\infty} dE_\pi \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \Phi(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z, E_{\mu min}) \times \\ &\times \left[ \frac{\delta T(h_2)}{T(h_2)} - \frac{R_0 m_\pi c}{E_\pi \tau_\pi \cos Z} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh \delta T(h)}{h} - \frac{R_0 m_\mu c}{\tau_\mu} \int_{h_2}^{h_0} \frac{dh \delta T(h)}{h \alpha E_\pi \cos Z - a(h - h_2)} \right], \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \left. \frac{\delta N_\mu(h_0, Z)}{N_\mu(h_0, Z)} \right|_{bar.} &= \delta h_0 \times \left( -\alpha \alpha^{-1} \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \Phi(E_{\pi min}, h_1, h_2, h_0, Z, E_{\mu min}) - \right. \\ &- \frac{m_\mu c}{\tau_\mu \rho(h_0)} \int_{E_{\pi min}}^{\infty} dE_\pi \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \frac{\Phi(E_{\pi min}, h_1, h_2, h_0, Z, E_{\mu min})}{\alpha E_\pi \cos Z - a(h_0 - h_2)} + \\ &\left. + \int_{E_{\pi min}}^{\infty} dE_\pi \int_0^{h_2} dh_1 \Phi(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z, E_{\mu min}) \right), \end{aligned} \quad (4.23)$$

čia

$$\Phi(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z, E_{\mu min}) = F(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z) / N_\mu(h_0, Z, E_{\mu min}), \quad (4.24)$$

$$N_\mu(h_0, Z, E_{\mu min}) = \int_{E_{\pi min}}^{\infty} dE_\pi \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 F(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z), \quad (4.25)$$

$$F(E_\pi, h_1, h_2, h_0, Z) = \frac{m_\mu c f_\pi(E_\pi, h_1, Z)}{\tau_\pi E_\pi \rho(h_2) \cos Z} \exp\left(-\frac{m_\pi c}{\tau_\pi E_\pi \cos Z} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\rho(h)}\right) \times \exp\left(-\frac{h_2 - h_1}{l \cos Z}\right) \exp\left(-\frac{m_\mu c}{\tau_\mu} \int_{h_2}^{h_0} \frac{dh}{\rho(h)} (\alpha E_\pi \cos Z - a(h - h_2))^{-1}\right). \quad (4.26)$$

čia  $N_\mu$  – miunų srauto intensyvumas;  $h_0$  – atmosferos slėgis stebėjimo aukštyje;  $h$  – atmosferos slėgis;  $h_1$  – atmosferos slėgis pionų susidarymo aukštyje;  $h_2$  – atmosferos slėgis miunų susidarymo aukštyje;  $\alpha$  – konstanta;  $Z$  – zenito kampas;  $T(h)$  vertikalus temperatūros pasiskirstymas;  $R_0$  – universalioji dujų konstanta;  $E_\pi$  – pionų energija;  $m_\mu$  – miunų rimties masė;  $E_{\mu \min}$  – minimali miunų energija;  $\tau_\mu$  – miunų gyvavimo trukmė;  $\tau_\pi$  – pionų gyvavimo trukmė;  $m_\pi$  – pionų rimties masė;  $a$  – konstanta;  $\rho$  – oro tankis.

Slėgio koeficientui būdingos tokios savybės (Angelov, Malamova 2007):

1. Visoms kosminės spinduliuotės antrinėms dalelėms absoliutinė slėgio koeficiento reikšmė turėtų būti didesnė esant Saulės aktyvumo minimumui lyginant su Saulės aktyvumo maksimumu.
2. Visoms kosminės spinduliuotės antrinėms dalelėms absoliutinė slėgio koeficiento reikšmė turėtų būti mažesnė jūros lygyje nei viršutiniuose atmosferos sluoksniuose.
3. Neutronų absoliutinė slėgio koeficiento reikšmė turėtų būti didesnė nei miunų slėgio koeficiento reikšmės.
4. Absoliutinė slėgio koeficiento reikšmė turėtų būti atvirkščiai proporcinga miunų energijai.

Tiriant miunų srauto svyravimus ties žemės paviršiumi, turi būti atsižvelgta į atmosferos slėgio ir temperatūros poveikį. Norint apskaičiuoti temperatūros poveikį, būtina žinoti temperatūrinį koeficientą, kadangi reikia atsižvelgti į temperatūros pokyčius skirtinguose atmosferos aukščiuose.

Atmosferos slėgio stebėjimo aukštyje  $h_0$  (atm), esant zenito kampui  $\theta$  ir slenkstinei energijai  $E_{\mu \min}$  integrinis miunų srautas  $N(E_{\mu \min}, h_0, \theta)$ . Jeigu temperatūra keičiasi  $\Delta T(h)$  ( $h$  yra atmosferos slėgis, atm), tai miunų srautas pasikeis  $\Delta N(E_{\mu \min}, h_0, \theta)$  ir santykinis miunų srauto pokytis bus (Dmitrieva *et al.* 2009):

$$\frac{\Delta N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)}{N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)} \bigg|_{temp.} = \int_0^{h_0} W_T(E_{\mu \min}, h_0, h, \theta) \Delta T(h) dh, \quad (4.27)$$

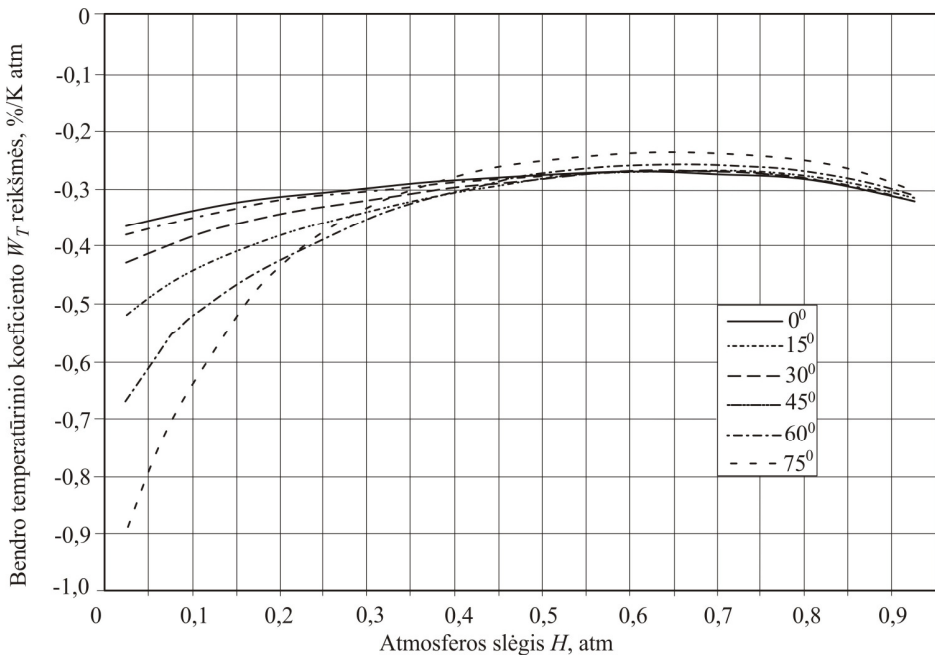
čia

$$W_T(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta) = W_T^\pi(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta) + W_T^\mu(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta), \quad (4.28)$$

$$W_T^\mu(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta) = -\frac{m_\mu c R_0}{\tau_\mu h N_\gamma} \int_0^h \frac{\exp(-h_2 / L \cos \theta) f_\gamma(s, k, v) dh_2}{(h_0 - h_2 + E_{\mu \min})}. \quad (4.29)$$

$W_T^\mu(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – bendras temperatūrinis koeficientas;  $W_T^\mu(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – miuoninės komponentės temperatūrinis koeficientas;  $W_T^\pi(h, h_0, E_{\mu \min}, \theta)$  – pioninės komponentės temperatūrinis koeficientas.

Miuoninės komponentės temperatūrinio koeficiento  $W_T^\mu$  reikšmė yra neigiama, kadangi didėjant atmosferos temperatūrai ji plečiasi, todėl didesnis miuonų skaičius suskyla.



**4.1 pav.** Bendro temperatūrinio koeficiento reikšmės esant skirtingiems zenito kampams (Dmitrieva *et al.* 2009)

**Fig. 4.1.** Total temperature coefficients for several zenith angles (Dmitrieva *et al.* 2009)

**4.1 lentelė.** Bendro temperatūrinio koeficiento reikšmės ir santykiniai miunų srauto intensyvumo pokyčiai esant  $0^\circ$  ir  $75^\circ$  zenito kampams

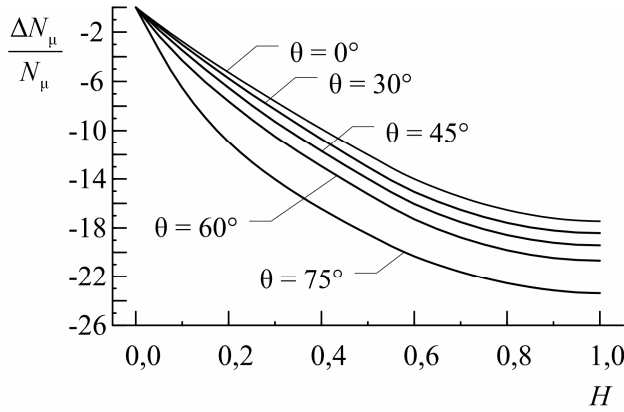
**Table 4.1.** Total temperature coefficients and relative changes in the intensity of muon flux for zenith angles  $\theta = 0^\circ$  and  $\theta = 75^\circ$

| H, atm | $\Delta T, ^\circ\text{C}$ | $W_T, \%/K \text{ atm}$ | $\frac{\Delta N_\mu}{N_\mu}$ | $W_T, \%/K \text{ atm}$ | $\frac{\Delta N_\mu}{N_\mu}$ |
|--------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
|        |                            | $\theta = 0^\circ$      |                              | $\theta = 75^\circ$     |                              |
| 0      | -76                        | -0,366                  | 0,000                        | -0,892                  | 0,000                        |
| 0,05   | -76                        | -0,366                  | -1,396                       | -0,892                  | -3,439                       |
| 0,1    | -76                        | -0,347                  | -2,754                       | -0,711                  | -6,509                       |
| 0,15   | -76                        | -0,33                   | -4,038                       | -0,580                  | -8,939                       |
| 0,2    | -76                        | -0,317                  | -5,266                       | -0,476                  | -10,940                      |
| 0,25   | -76                        | -0,309                  | -6,454                       | -0,403                  | -12,600                      |
| 0,3    | -76                        | -0,302                  | -7,615                       | -0,352                  | -14,029                      |
| 0,35   | -76                        | -0,295                  | -8,750                       | -0,316                  | -15,294                      |
| 0,4    | -76                        | -0,288                  | -9,857                       | -0,290                  | -16,443                      |
| 0,45   | -76                        | -0,282                  | -10,940                      | -0,271                  | -17,508                      |
| 0,5    | -76                        | -0,277                  | -11,999                      | -0,257                  | -18,507                      |
| 0,55   | -70,2                      | -0,273                  | -13,055                      | -0,248                  | -19,475                      |
| 0,6    | -62,4                      | -0,27                   | -14,000                      | -0,241                  | -20,326                      |
| 0,65   | -54,6                      | -0,269                  | -14,780                      | -0,238                  | -21,020                      |
| 0,7    | -46,8                      | -0,273                  | -15,469                      | -0,237                  | -21,623                      |
| 0,75   | -39                        | -0,273                  | -16,054                      | -0,240                  | -22,133                      |
| 0,8    | -31,2                      | -0,279                  | -16,537                      | -0,246                  | -22,559                      |
| 0,85   | -23,4                      | -0,288                  | -16,924                      | -0,256                  | -22,901                      |
| 0,9    | -15,6                      | -0,301                  | -17,210                      | -0,274                  | -23,157                      |
| 0,95   | -7,8                       | -0,32                   | -17,391                      | -0,303                  | -23,326                      |
| 1      | 0                          | -0,32                   | -17,454                      | -0,303                  | -23,385                      |

Iš 4.1 lentelės matome, kad bendro temperatūrinio koeficiento reikšmės, kai  $\theta = 0^\circ$  kinta gana siaurose ribose  $-0,366 \leq W_T \leq -0,269$ . Kai  $\theta = 75^\circ$ , temperatūrinio koeficiento reikšmės kinta  $-0,892 \leq W_T \leq -0,237$  (4.1 pav.). Temperatūra

priklausomai nuo aukščio kinta tiesiškai, kai  $H \geq 0,55$ , ir pastovus, kai  $H \leq 0,55$ . Todėl (4.27) formulės integralą patogiu išskaidyti į dvi dalis kai  $0 \leq H \leq 0,55$  ir  $0,55 \leq H \leq 1$ , kai  $\theta = 0^\circ$ . Esant  $\theta = 75^\circ$  patogiu naudoti integralą, kai  $0 \leq H \leq 0,65$  ir  $0,65 \leq H \leq 1$ .

Santykinis miuoninės komponentės intensyvumas buvo apskaičiuotas pagal (4.27) formulę, žinant bendrą temperatūrinį koeficientą esant skirtingiems slėgiams ir zenito kampams (4.2 pav.).



**4.2 pav.** Santykinio miuonų srauto intensyvumo pokyčio priklausomybė nuo atmosferos storio esant skirtingiems zenito kampams

**Fig. 4.2.** The relative change in the intensity of muon flux depending on the thickness of atmosphere for several zenith angles

Vidutinė santykio  $\langle \Delta N_\mu / N_\mu \rangle$  reikšmė kai  $H$  intervalas yra  $[0; 1]$  bus tokia, kai  $\theta = 0^\circ$ :

$$\int_0^{h_0} \frac{\Delta N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)}{N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)} dh = -10,97. \quad (4.30)$$

Kai  $\theta = 75^\circ$ ,

$$\int_0^{h_0} \frac{\Delta N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)}{N_\mu(E_{\mu \min}, h_0, \theta)} dh = -16,64. \quad (4.31)$$

Toliau darbe pateikiamas apibendrintas atmosferinio poveikio miuonų sklaidai matematinis modeliavimas, naudojant trupmenines išvestines. Trupmeninis skaičiavimas yra matematinės analizės sritis, kuri tyrinėja diferencialinio ir integralinio operatorių galimus realius arba kompleksinius laipsnius (Sam-

ko *et al.* 1993). Erdvę, kurioje vyksta įvairiausios fluktuacijos, galima modeliuoti kaip fraktalinę.

Modeliuojant atmosferos sluoksnį, kaip fraktalinę terpę, galima bendrai aprašyti slėgio poveikį miuoninės komponentės variacijoms kaip matematinį modeliavimą. Fraktalinė terpė pasižymi dviem pagrindinėm savybėm: savipanašumu (*selfsimilarity*) ir trupmenine Hausdorfo (*Hausdorff*) dimensija (Madelbrot 1983). Atmosferos sluoksnio atskiras tūrio elementas yra panašus į visą atmosferos sluoksnio terpę, kurioje vyksta sklaidos ir sugerties procesai. Pasitelkus klasikinę Ito formulę, sklaidą dujose galima laikyti procesu, kurio dimensija  $\frac{1}{2}$ . Tuo metu, kai sklaida skiriasi nuo klasikinio sklaidos proceso, tokio proceso dimensija gali skirtis nuo reikšmės  $\frac{1}{2}$ . Pavyzdžiui, dalelės judėjimas dujose gali būti modeliuojamas kaip trupmeninis Brauno judėjimas, o kosminės spinduliuotės sklaidimas Galaktikoje gali būti modeliuojamas kaip fraktalinė terpė (Lagutin, Uchaikin 2001).

Taikant trupmeninės dinamikos principus, vietoj klasikinės Dorman matematiname modeliavime naudojamos (4.6) formulės, siūlomas trupmeninis šio modeliavimo apibendrinimas:

$$\frac{d^\alpha I(P)}{dP^\alpha} = -\mu(P)I(P), \quad (0 \leq \alpha \leq 1), \quad I_0 = I(0), \quad (4.32)$$

čia  $d^\alpha/dP^\alpha$  – trupmeninis operatorius;  $\alpha$  – nelokalumo parametras. Tam, kad nekiltų problemų su dimensijom, operatorių  $d^\alpha/dP^\alpha$  suprantame kaip  $P_0^{\alpha-1} D_P^\alpha$ , kur  $D_P^\alpha$  – trupmeninė išvestinė, o  $P_0$  – slėgio vienetas. Skirtumas tarp siūlomo apibendrinimo ir modeliavimo (4.6) yra pagrindinio evoliucinio operatoriaus pokytis į trupmeną. Bendru atveju, kai antrinės komponentės sugerties koeficientas  $\mu(P)$  nelygus konstantai, net paprastas sprendinys gali būti ieškomas skaitiniais metodais.

Tuo atveju, kai  $\mu(P) = \mu = \text{const}(P)$ , sprendinys išreiškiamas taip:

$$I(P) = I_0 E_{\alpha,1}(-\mu P^\alpha), \quad (4.33)$$

čia

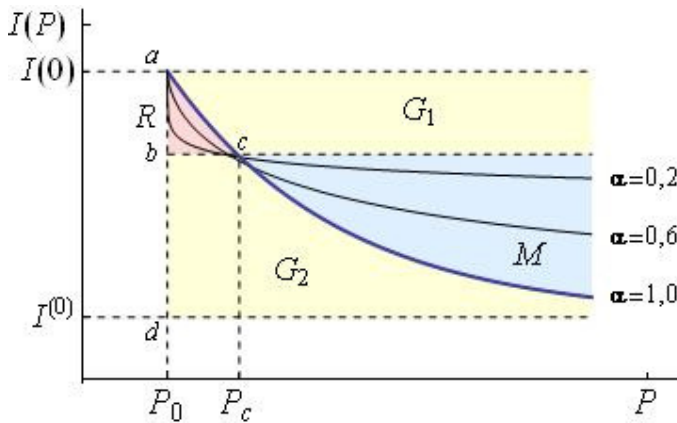
$$E_{\alpha,b}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + b)} \quad (4.34)$$

yra Mitag-Lefflerio (*G. M. Mittag-Leffler*) funkcija.

Tuo atveju, kai  $I_0 = I(P_0)$ , gaunamas kitoks sprendinys:

$$I(P) = I_0 E_{\alpha,1}(-\mu |P - P_0|^\alpha), \quad (0 \leq \alpha \leq 1), \quad I_0 = I(P_0). \quad (4.35)$$

(4.35) sprendinys pavaizduotas 4.3 paveiksle imant skirtingas nelokalumo reikšmes. Kai  $\alpha = 1,0$ , gaunama klasikinė gėstanti eksponentė ( $P_0 = 1, \mu = 0,2$ ).



**4.3 pav.** Sprendinio  $I(P)$  priklausomybė, kai nelokalumo parametras  $\alpha = 0,2; 0,6$  ir  $1,0$

**Fig. 4.3.** The solution  $I(P)$  dependence, when nonlocal parameter  $\alpha = 0.2, 0.6$  and  $1.0$

Svarbus trupmeninio apibendrinimo skirtumas nuo klasikiniame modelia-vime naudojamos (4.6) formulės yra galimybė varijuoti proceso greitį. Jei klasi-kiniame modelyje mažėjimo greitis yra  $\mu$ , tai modelyje (4.35), kitimo greitis

$$\mu_\alpha = \frac{\mu}{\pi_0^{\alpha-1}}, \quad (4.36)$$

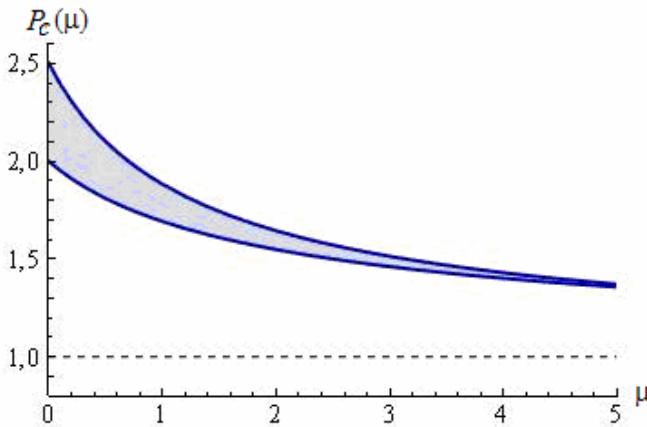
čia  $\mu_\alpha$  – antrinės komponentės sugerties koeficientas,  $\mu$  yra tas pats koeficien-tas, kai  $\alpha = 1,0$ , o  $\pi_0$  – būdingas modelio slėgio matas.

4.3 paveiksle yra pažymėta pusiau begalinė juosta  $ad: \{I'(0) < I(P) < I(0) \text{ ir } P \geq P_0\}$ , kuri yra užpildoma klasikiniu atveju, kai sprendinys lygus  $I(P) = I_0 e^{-\mu(P-P_0)}$  ir varijuojamas sugerties koeficientas  $\mu$ .

Trupmeninės evoliucinės lygties atveju, esant pastoviam slopinimo koefi-cientui  $\mu = \text{const}$ , keičiant nelokalumo koeficiento reikšmę, gaunama sritis  $R$  ir  $M$ . Tai reiškia, kad  $G_1$  ir  $G_2$  yra neužpildomos, esant bet kokiai nelokalumo koe-ficiento reikšmei. Visoms minėtoms sritims lemiamu aspektu, nusakančių jų dy-dį yra kritinio taško  $c$  padėtis. Jis priklauso nuo slėgio  $P_c$ , kuriam esant trupme-ninis ir eksponentinis intensyvumo pokyčiai sutampa  $I(P, \alpha) = I(P, 1)$ . Iš šios sąlygos seka lygtis

$$E_{\alpha,1}(z) = e^{-\mu|P_c - P_0|}, \quad E_{\alpha,1}(z) = E_{1,1}(z). \quad (4.37)$$

Iš 4.37 lygties seka, kad kritinio taško  $P_c(\mu)$  dydžio reikšmė priklauso nuo sugerties koeficiento  $\mu$  ir nelokalumo parametro  $\alpha$ . Atsižvelgus į tai, kad sugerties koeficiento reikšmė teoriškai gali keistis visame realiame pusašyje  $0 < \mu < \infty$ , o nelokalumo parametro reikšmė kinta intervale  $0 < \alpha \leq 1$ , patogiu pavaizduoti funkciją  $P_c(\mu)$ , o nelokalumo parametą šioje priklausomybėje pavaizduoti kaip parametą. Tokia priklausomybė pavaizduota 4.4 paveiksle.



**4.4 pav.** Kritinio slėgio  $P_c$  reikšmės priklausomybė nuo sugerties koeficiento  $\mu$  bei nelokalumo parametro  $\alpha$

**Fig. 4.4.** Critical pressure  $P_c$  value dependence of absorption value  $\mu$  and nonlocal parameter  $\alpha$

Kai sugerties koeficiento vertė  $\gg 1$ , nelokalumo parametro įtaka tampa nykstamai maža. Tačiau, kai sugerties koeficiento reikšmė  $\ll 1$ , nelokalumo parametro įtaka yra svarbi, nes kritinio slėgio reikšmė gali keistis 1,25 karto. Abi priklausomybės  $P_c(\mu)$  asimptotiškai artėja prie reikšmės  $P_c$  lygios 1 ir susilieja.

Aukščiau išnagrinėtas atvejis apie kosminės spinduliuotės antrinės komponentės intensyvumo  $I$  priklausomybę nuo slėgio, gali būti pritaikyta apibendrinant priklausomybę nuo temperatūros.

Apibendrinant antrinės kosminės spinduliuotės intensyvumo  $I$  priklausomybę nuo slėgio ir nuo temperatūros, reikia atsižvelgti į tai, kad pagal savo apibrėžimą, trupmeninė išvestinė, priešingai nuo paprastos išvestinės, nėra diferencialų santykis. Temperatūros ir atmosferos slėgio įtaką santykiniam dalelių srauto intensyvumui nusakančios (4.19) formulės trupmeninis apibendrinimas atrodo taip:

$$\frac{\delta^{\gamma} I(x_0, \theta, P)}{I(x_0, \theta, P)} = \int_{x_0}^x \beta(\xi, x_0, x, P) \delta P(\xi) d\xi + \int_{x_0}^x \alpha(\xi, x_0, x, T) \delta T(\xi) d\xi, \quad (4.38)$$

čia  $\delta^{\gamma} I(x_0, \theta, P)$  – trupmeninė kosminės spinduliuotės intensyvumo  $I$  variacija.

Tokiu būdu, (4.38) evoliucinė lygtis yra pati bendriausia kosminės spinduliuotės miuoninės komponentės netiesinė lygtis trupmeninėm išvestinėm. Šioje lygtyje, skirtingai nuo (4.32) lygties,  $\beta$  ir  $\alpha$  koeficientai gali būti sudėtingos funkcijos nuo slėgio, temperatūros ir pradinių sąlygų. Dėl bendru atveju sudėtingos  $\beta$  ir  $\alpha$  koeficientų priklausomybės analizinis (4.38) lygties sprendimas yra praktiškai neįmanomas. Skaitinis (4.38) lygties sprendimas yra savarankiškas sudėtingas matematinis uždavinys. Matematinio (4.38) modelio santykis su eksperimentiniais duomenimis reikalauja papildomų eksperimentinių duomenų.

## Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Matematiniam modeliavimui naudotos formulės, aprašančios miuonų sklaidą, yra netiesinės. Vadinasi, miuoninė komponentė netiesiškai kinta nuo atmosferos storio, slėgio ir temperatūros.
2. Tiriant miuonų srauto svyravimus ties žemės paviršiumi, turi būti atsižvelgta į atmosferos slėgio ir temperatūros poveikį. Todėl tikslinga skaičiuoti slėgio ir temperatūrinį koeficientą.
3. Atlikti skaičiavimai patvirtina, kad esant skirtingiems zenito kampams, santykinio miuonų srauto intensyvumo pokyčio kaita priklauso nuo atmosferos sluoksnio storio.
4. Atmosferos sluoksnis, kuriame vyksta kosminės spinduliuotės antrinės komponentės sklaida, modeliuojamas kaip fraktalinė terpė. Kosminės spinduliuotės miuoninės komponentės proceso greitis gali būti varijuojamas prietaikius trupmeninės išvestinės sąvoką.



---

# Bendrosios išvados ir rekomendacijos

## Bendrosios išvados

1. Atlikus kietosios kosminės spinduliuotės srauto stebėjimus 1,2–1,6 MeV energijų diapazone nustatyta, kad šiame intervale kietosios kosminės spinduliuotės srautas kinta skirtingai: kietosios kosminės spinduliuotės srauto reikšmės kinta sezoniškai: žiemą–rudenį maksimalios, o pavasarį–vasarą – minimalios.
2. Patvirtinta, kad kietosios kosminės spinduliuotės srauto nestabilumą galima naudoti kaip netiesioginį indikatorių prognozuojant atmosferos slėgio sumažėjimus šešių parų ir padidėjimus penkių parų laikotarpiais.
3. Gauta atvirkštinė koreliacija tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio reikšmių per 2002–2008 metų laikotarpį. Koreliacijos koeficientai kinta nuo  $-0,43$  iki  $-0,57$ . Apskaičiuoti koreliaciniai santykiai per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo  $0,46$  iki  $0,74$ . Tai rodo, kad tarp nagrinėjamų dydžių priklausomybė yra ir ji pakankamai stipri.
4. Atmosferos slėgio sumažėjimams pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas 1,2–1,6 MeV energijų diapazone prognozuoti siūloma

naudoti du kriterijus: kietosios kosminės spinduliuotės sumažėjimas tarp gretimų parų  $-15 \text{ imp./h}$  ir  $-20 \text{ imp./h}$  8–13 h laiko intervale. Nustatyta, kad sąryšio efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 63 iki 69 % ir nuo 64 iki 70 % atitinkamai.

5. Naudojant abu pasiūlytus kietosios kosminės spinduliuotės sumažėjimo kriterijus ir įvertinus atmosferos slėgio kriterijų, nustatyta, kad sąryšio efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 52 iki 68 % ir nuo 55 iki 64 %. Pastebėta, kad atsižvelgus į atmosferos slėgio kriterijų sąryšio efektyvumas sumažėja 8–12 %.
6. Atmosferos slėgio padidėjimams pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas 1,2–1,6 MeV energijų diapazone prognozuoti siūloma naudoti du kriterijus: kietosios kosminės spinduliuotės padidėjimas  $40 \text{ imp./h}$  ir  $50 \text{ imp./h}$  14–19 h laiko intervale. Nustatyta, kad sąryšio efektyvumas per 2002–2008 metų laikotarpį kinta nuo 61 iki 73 % ir nuo 53 iki 69 % atitinkamai.

## Rekomendacijos

1. Siūloma taikyti netiesioginį metodą, papildant sinoptinį metodą sąryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės srauto ir atmosferos slėgio variacijų rezultatais.
2. Siūloma naudoti matematinį modelį miuoninės komponentės intensyvumui vertinti, atsižvelgiant į atmosferos slėgio ir temperatūros poveikį.
3. Modeliuojant atmosferos sluoksnį kaip fraktalinę terpę, klasikinį matematinį modelį siūloma išreikšti trupmeniniu pavidalu.

---

## Literatūros sąrašas

Adams, R. V. 1952. The nuclear interactions of cosmic rays. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 1: 107–136.

Ahrens, C. D. 2008. *Essentials of meteorology – an invitation to the atmosphere*. Thomson learnings, 485 p.

Alexeenko, V. V.; Khaerdinov, N. S.; Lidvansky, A. S.; Petkov, V. B. 2001. *Electric field disturbances in the summer-time atmosphere and associated variations of cosmic rays intensity* [online]. [cited 21 August 2008]. Available from internet: <[http://dpnc.unige.ch/ams/ICRC-01/ICRC2001/papers/ici6297\\_p.pdf](http://dpnc.unige.ch/ams/ICRC-01/ICRC2001/papers/ici6297_p.pdf)>.

Alexeenko, V. V.; Khaerdinov, N. S.; Lidvansky, A. S.; Petkov, V. B. 2002. Transient variations of secondary cosmic rays due to atmospheric electric fields and evidence for pre-lightning particle acceleration. *Physical Letters A*, 301: 299–306.

Alvarez-Castillo, J.; Valdés-Galicia, J. F. 2008. *Electric storm effects on the soft and hard cosmic ray components observed in Mexico city* [online]. [cited 21 August 2008]. Available from internet: <<http://indico.nucleares.unam.mx/getFile.py/access?contribId=1099&sessionId=39&resId=0&materialId=paper&confId=4>>.

Angelov, I.; Malamova, E. 2007. High angular resolution muon telescope for exploring the temperature profile of the atmosphere. *Scientific Research*, 5: 1–10.

Barbashina, N. S.; Bogdanov, A. G.; Chernov, D. V. and *et al.* 2007. Ultra-high energy cosmic ray investigations by means of EAS muon density measurements. *Nuclear Physics B*, 165: 317–323.

- Barriopedro, D.; García-Herrera, R.; Lupo, A. R.; Hernández, E. 2006. A climatology of Northern Hemisphere blocking. *Journal of Climate*, 19: 1042–1063.
- Barry, R. G.; Carleton, A. M. 2001. *Synoptic and dynamic climatology*. Routledge, New York and London, 644 p.
- Barry, R. G.; Chorley, R. J. 2003. *Atmosphere, weather and climate*. Routledge, New York and London, 472 p.
- Bartkevičienė, G. 1999. Pietiniai ciklonai ir jų poveikis orams Lietuvoje. *Geografijos Metraštis*, 33: 47–56.
- Beatty, J. J.; Westerhoff, S. 2009. The highest energy cosmic rays. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 59: 319–345.
- Beggs, P. J. 2000. Impacts of climate and climate change on medications and human health. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 24(6): 630–632.
- Berkova, M.; Belov, A.; Eroshenko, E.; Smirnov, D.; Yanke, V. 2008. *Temperature effect of muon component and practical questions of its account* [online]. [cited 16 July 2008]. Available from internet: <<http://ecrs2008.saske.sk/dvd/s1.17.pdf>>.
- Berners-Lee, T.; Cailliau, R. 2005. How a detector works. European Organization for Nuclear Research.
- Bernlöhner, K. 1999. Cosmic ray air showers. *Astroparticle Physics*, 12: 255–268.
- Bogdanov, M. B.; Fedorenko, A. V. 2003. Relation of atmosphere surface pressure fluctuations with geomagnetic and cosmic factors. *Atmospheric and Oceanic Physics*, 16.
- Brock, F. V.; Richardson, S. J. 2001. *Meteorological measurement systems*. Oxford University Press, US, 304 p.
- Brunetti, M.; Cecchini, S.; Galli, M. 1999. *Environmental radiation monitoring at high altitude*: 26<sup>th</sup> International Cosmic Rays Conference (ICRC) [Salt Lake City (Utah, USA), 1999 august 17 – 26 d.]. Salt Lake City, 7: 355–358.
- Bugaev, E. V.; Misaki, A.; Naumov, V. A.; Sinigovskaya, T. S.; Sinigovsky S. I.; Takahashi, N. 1998. Atmospheric muon flux at sea level, underground and underwater. *Physical Review D: Particles and Fields*, 58(5): 054001–27.
- Bukantis, A. 1994. *Lietuvos klimatas*. Vilnius: VU leidykla,
- Bukantis, A. 2004. *Taikomoji meteorologija. Klimatologija*. Vilnius. VU leidykla,
- Campbell, W. H. 2003. *Introduction to geomagnetic fields*. Cambridge University Press, 337 p.
- Cattani, D.; Cecchini, S.; Galli, M. 2001. *Continuous monitoring of environmental radiation in the Arctic*: 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Hamburg, (Germany), 2001 august 7 – 15 d.], 4048–4051.
- Cattani, D.; Cecchini, S.; Galli, M. 2003. *Measurements of the gamma-ray spectrum in the range 3 – 15 MeV at different atmosphere depths*: International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Tsukuba (Japan), 2003 July 31 – August 7 d.], 4295–4298.
- Cecchini, S.; Sioli, M. 2000. Cosmic ray muon physics. *ArXiv: High Energy Physics*: 0002052.

Christensen, E. F.; Lühr, H.; Hulot, G. 2006. Swarm – a constellation to study the dynamics of the Earth's magnetic field and its interactions with the Earth system. *Earth Planets Space*, 58: 351–358.

Coan, T. E.; Ye, J. *Muon physics* [online]. 2002 [cited 16 May 2007]. Available from internet: <[http://www.matphys.com/muon\\_manual.pdf](http://www.matphys.com/muon_manual.pdf)>.

Dmitrieva, A. N.; Kokoulin, R. P.; Petrukhin, A. A.; Timashkov, D. A. 2009. Temperature coefficients for muons at different zenith angles. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 73(3): 353–356.

Dmitrieva, I. V.; Khabarova, O. V.; Obridko, V. N.; Ragulskaja, M. V.; Reznikov, A. E. 2000. Experimental confirmations of bioeffective effect of magnetic storms. *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 19: 67–77.

Dorman, L. I. 1974. *Cosmic rays: variations and space explorations*. North-Holland, Amsterdam.

Dorman, L. I. 2004. *Cosmic rays in the Earth's atmosphere and underground*. Springer, Kluwer Academic publishers, 855 p.

Duffy, K. 1983. The weather and health. *Environmental View*, 6(1): 10–12.

Elsner, J. B.; Kavnikov, S. P. 2001. Hurricane intensity changes associated with geomagnetic variation. *Journal of Atmospheric Sciences Letters*, 2: 86–93.

Engel, R. 2006. Hadronic interactions and extensive air showers. *Journal of Physics: Conference Series*, 47: 213–221.

Engel, R. 2006. Very high energy cosmic rays and their interactions. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, 151(1): 437–461.

Engel, R.; Gaisser, T. K.; Ortiz, J. A.; Stanev, T. 2002. Hybrid simulations of extensive air showers. *Physical Review D*, 66(3): 033011–17.

Famoso, B.; La Rocco, P.; Riggi, F. *Long term monitoring of cosmic ray flux and atmospheric pressure: estimation of the barometric coefficient by simple Geiger counter* [online]. 2004. [cited 24 April 2007]. Available from internet: <<http://www.ct.infn.it/~rivel/cosmic/Documents/Publications/INFN-AE-04-13.pdf>>.

Feinberg, G.; Lederman, L. M. 1963. The physics of muons and muon neutrinos. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 13: 431–504.

Gabriel, S. B. 1998. *Cosmic rays and solar protons in the near-Earth environment and their entry into the magnetosphere*. ESA Workshop on Space Weather. [The Netherlands, 1998 November 11 – 13 d.]. Proceedings of International Conference.

Gaisser, T. K. 1990. *Cosmic rays and particle physics*. Cambridge University Press, London, 295 p.

Gaisser, T. K.; Stanev, T. *Cosmic rays* [online]. 2006. [cited 15 January 2007]. Available from internet: <<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/cosmicrayrpp.pdf>>.

Galvonaitė, A.; Misiūnienė, M.; Valiukas, D.; Buitkuvienė, M. S. 2007. *Lietuvos klimatas*. Kaunas: ARX Baltica, p. 23, 42 – 53, 107–110.

Greisen, K. 1960. Cosmic ray showers. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 10: 63–108.

- Grieder, P. K. F. 2001. *Cosmic rays at Earth*. Elsevier, Amsterdam, 1093 p.
- Gruppen, C.; Cowan G.; Eidelman S.; Stroh T. 2005. *Astroparticle Physics*. Springer, 441 p.
- Hansen, P.; Gaisser, T. K.; Stanev, T. 2005. The influence of the geomagnetic field and of the uncertainties in the primary spectrum on the development of the muon flux in the atmosphere. *Physical Review D*, 71(8): 083012.
- Hess, V. F. 1939. Time variations of cosmic rays. *Reviews of Modern Physics*, 11: 153–157.
- Heusser, G. 1995. Low-radioactivity background techniques. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 45: 543–590.
- Hill, T.; Lewicki, P. 2007. *Statistics: methods and applications*. StatSoft, Tulsa.
- Yashin, I. I.; Barbashina, N. S.; Borog, V. V.; Capdevielle, J. N. *et al.* 2006. *Muon diagnostics of magnetosphere and atmosphere of the Earth*: 20<sup>th</sup> European Cosmic ray Symposium (ECRS) Lisbon (Portugal), 2006 September 5 – 8 d.], 1–4.
- James, F. 2006. *Statistical methods in experimental physics*. World Scientific, Singapore, 345 p.
- Janossy, L. 2007. *Cosmic rays*. Oxford University Press, London, 340 p.
- Johnson, T. H. 1938. Cosmic ray intensity and geomagnetic effects. *Reviews of Modern Physics*, 10(4): 94–244.
- Kalmykov, N. N.; Khristiansen, G. B. 1975. Extensive air showers of cosmic rays and scale invariance in hadronic interactions at ultrahigh energies. *Letters to Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 21(11): 315–316.
- Kangas, J.; Kananen, H.; Kokkonen, J. 1967. On the variations on cosmic ray  $\mu$ -meson intensity during rapid pressure variations and about applicability of Duperier's model. *Geophysica*, 9(4): 321–326.
- Karagiorgi, G.; Slanker, J. *Cosmic ray muon detection* [online]. 2003. [cited 25 April 2007]. Available from internet: <[http://www.outreach.phys.uh.edu/index\\_files/PPT/.../cosmicraymuon.ppt](http://www.outreach.phys.uh.edu/index_files/PPT/.../cosmicraymuon.ppt)>.
- Kavlaakov, S. 2006. *Cosmic ray, solar and geomagnetic changes, preceding hurricane formation*: 20<sup>th</sup> European Cosmic Ray Symposium (ECRS) [Lisbon (Portugal), 2006 September 5 – 8 d.], 1–7.
- Kessler, A. 2002. Global sea level pressure and cosmic ray flux. *Meteorologische Zeitschrift*, 11(6): 409–413.
- Khaerdinov, N. S.; Lidvansky, A. S.; Petkov, V. B. 2003a. *Effect of disturbed electric field of the atmosphere on cosmic rays: hard component* [online]. [cited 22 August 2008]. Available from internet: <<http://dpnc.unige.ch/ams/ICRC-03/FILES/PDF/1020.pdf>>.
- Khaerdinov, N. S.; Lidvansky, A. S.; Petkov, V. B.; Surovetsky, Yu. P. 2003b. *Effect of disturbed electric field of the atmosphere on cosmic rays: hard component* [online].

[cited 22 August 2008]. Available from internet: < <http://dpnc.unige.ch/ams/ICRC-03/FILES/PDF/1019.pdf>>.

Knapp, J.; Heck, D.; Sciutto, S. J. and *et al.* 2003. Extensive Air Shower simulations at the highest energies. *Astroparticle Physics*, 19: 77–99.

Kovaltsov, G. A.; Usoskin, I. G. 2007. Regional cosmic ray induced ionization and geomagnetic field changes. *Advances in Geoscience*, 13: 31–35.

Ladron de Guevara, P. 2005. Measurement of the atmospheric muon spectrum from 20 to 3000 GeV. *Journal of Nuclear Physics B – Proceedings Supplements*, 143, 500 p.

Lagutin, A. A.; Uchaikin, V. V. 2001. *Fractional diffusion of cosmic rays*. 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Hamburg, (Germany), 2001 august 7 – 15 d.], 1–3.

Lamb, H. H. 1972. *Climate: present, past and future: fundamentals and climate now*. Routledge Press, p. 613.

Leonavičienė, T. 2006. *SPSS programų paketo taikymas statistiniuose tyrimuose*. Vilnius: VPU leidykla, 125 p.

Lydolph, P. E. 1985. *Weather and climate*. Rowman&Littlefield Press, 216 p.

Lorenz, E. N. 1966. Large-scale motions of the atmosphere: circulations. *Advances in Earth Science*: 95–109.

Lupo, A. 1997. A diagnosis of two blocking events that occurred simultaneously in the midlatitude Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 125(8): 1801–1823.

Lupo, A.; Besart, L. F. 1999. An analysis of a relatively rare case of continental blocking. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125: 107–138.

Lupo, A.; Smith P. J. 1998. The interactions between a midlatitude blocking anticyclone and synoptic-scale cyclones that occurred during the summer season. *Monthly Weather Review*, 126: 502–515.

Lupo, A.; Smith, P. J. 1995. Planetary and synoptic-scale interactions during the life cycle of a mid-latitude blocking anticyclone over the North Atlantic. *Tellus Special Issue: the life cycles of extratropical cyclones*, 47A: 575–596.

Lutgens, F. K.; Tarbuck, E. J. 2006. *The atmosphere: An introduction to meteorology*. Prentice Hall, 528 p.

Mackensen, S.; Hoeppe, P.; Maarout, A.; Tourigny, P.; Nowak, D. 2005. Prevalence of weather sensitivity in German and Canada. *International Journal of Biometeorology*, 49(3): 156–166.

Mandelbrot, B. 1983. *The fractional geometry of nature*. New York, 468 p.

Mauritsen, T.; Källén, E. 2004. Blocking prediction in an ensemble forecasting system. *Tellus*, 56A: 218–228.

Merrill, R.; McEllhinney, M. W. 1983. *The Earth's magnetic Field*. London: Academic press, p. 101–106.

- Meurer, C.; Blümer, J.; Engel, R. and *et al.* 2005. *Hadronic multiparticle production in extensive air showers and accelerator experiments: 29<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Pune]*, 19: 17–20.
- Milikan, R. A.; Neher, H. V.; Smith, D. O. 1939. Seasonal cosmic-ray effects at sea level. *Journal of Physical Review*, 56(6): 487–490.
- Minarovjech, M.; Rušin, V.; Saniga, M. 2008. 27-day variations of solar indices and cosmic ray neutron monitor intensities. *Astronomische Nachrichten*, 329(1): 20–25.
- Mishev, A. 2006. Possible correlation between cosmic ray variation and atmosphere parameters. *ArXiv: Physics/0602120*.
- Misumi, Y. 1986. The external forcing of the atmospheric response to a Sun-weather relation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 64(1): 137–146.
- Nagamine, K. 2003. *Introductory muon science*. Cambridge University Press, UK, 224 p.
- Nuzhnina, M. A. 1998. Effect of natural factors on the occurrence of cardiovascular diseases. *Biofizika*, 43(4): 640–646.
- Ormeny, J.; Nemeth, T. 1990. Effect of meteorological and cosmic factor upon electrolyte solution. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(2): 129–133.
- Palmer, S. J.; Rycroft, M. J.; Cermack, M. 2006. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surveys in Geophysics*, 27: 557–595.
- Palmer, T.; Hagedorn, R. 2006. *Predictability of weather and climate*. Cambridge university press, 702 p.
- Papailiou, M.; Mavromichalaki, H.; Vassilaki, A.; Kelesidis, K. M.; Mertzanos, G. A.; Petroloulos, B. 2009. Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during the December 2006 solar extreme events. *Advances in Space Research*, 43(4): 523–529.
- Pierog, T.; Engel, R.; Heck, D. 2006. Impact of uncertainties in hadron production on air-shower predictions. *Czechoslovak Journal of Physics*, 56: 161–172.
- Pudovkin, M. I.; Veretenenko, S. V.; Pellinen, R.; Kyro, E. 1997. Meteorological characteristic changes in the high-latitude atmosphere associated with Forbush decrease of the galactic cosmic rays. *Advances in Space Research*, 20(6): 1169–1172.
- Rebel, H.; Sima, O.; Haungs, A.; Oehlschläger, J.; Manailescu, C.; Morariu, C.; Patrascioiu, A. 2007. *The muon charge ratio in cosmic ray air showers*. Department of Physics, University of Bucharest, Romania.
- Roe, P. B. 2001. *Probability and statistics in experimental physics*. 252 p.
- Rossi, B.; Greisen K. 1941. Cosmic ray theory. *Reviews of Modern Physics*, 13: 240–315.
- Samko, S. G.; Kilbas, A. A.; Marichev, O. I. 1993. *Fractional integrals and derivatives, theory and applications*. Gordon and Breach, Yverdon.
- Saucier, W. J. 2003. *Principles of meteorological analysis*. Courier Dover Publications, USA, 464 p.

- Schlaepfer, H. 2003. Cosmic rays. *Spatium*: 11.
- Schlickeiser, R. 2002. Cosmic ray astrophysics. *Springer*, 519.
- Shea, M. A.; Smart, D. F. 2000. Cosmic ray implications for human health. *Space Science Reviews*, 93: 187–205.
- Short, N. M. *Atmospheric circulation, weather systems* [online]. 2005. NASA. [cited 15 July 2008]. Available from internet: <[http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14\\_1c.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1c.html)>.
- Sigl, G. 2001. Ultrahigh-energy cosmic rays: Physics and Astrophysics at extreme energies. *Science*, 291(73): 73–79.
- Simpson, J. A. 1983. Elemental and isotopic composition of the galactic cosmic rays. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 33: 323–381.
- Sokolsky, P. 2006. *Detection of Ultra-High Energy Cosmic Rays*. Telescope Array project.
- Stanev, T.; Coutu, S.; Gaisser, T. K.; Barr, G. 1999. *Formation of the atmospheric muon spectrum*: 26<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Salt Lake City (Utah, USA), 1999 august 17 – 25 d.], 2: 96–99.
- Stimac, J. P. 2006. *Weather and climate*. Department of Geology/Geography. USA.
- Styra, D.; Gaspariūnas, J.; Kleiza, J.; Usovaitė, A. 2005a. Hard cosmic ray flux variations and a leap in the number of cardiovascular diseases in Vilnius in 2003, in the 6<sup>th</sup> *International Conference Environmental Engineering*, 1: 282–286.
- Styra, D.; Gaspariūnas, J.; Usovaitė, A. 2002. Ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės energetinio spektro nestabilumo ir vyresnio amžiaus žmonių širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų paieška. *Gerontologija*, 3(3): 125–128.
- Styra, D.; Gaspariūnas, J.; Usovaitė, A. 2003. Поиск оптимального метода и энергетического диапазона жесткого космического излучения для прогноза изменения сердечно-сосудистых заболеваний. *Vestnik IAELPS*, 8(1): 89–94.
- Styra, D.; Gaspariūnas, J.; Usovaitė, A. 2004. Peculiarities of hard cosmic radiation variations near the ground surface in accordance with geomagnetic activity changes. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(3): 96–102.
- Styra, D.; Gaspariūnas, J.; Usovaitė, A. 2005b. On the connection between hard cosmic ray flux variation and changes in cardiovascular disease in Vilnius city. *International Journal of Biometeorology*, 49(1): 267–272.
- Styro, D. 1996. Regularities of hard cosmic rays flux variations near the ground surface. *Environmental Engineering*, 2(6): 9–11.
- Stoupel, E.; Babayev, E. S.; Mustafa, F. R.; Abramson, E.; Israelevich, P.; Sulkes, J. 2006. Clinical cosmobiology – sudden cardiac death and daily/monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity – the Baku study (2003–2005). *Sun and Geosphere*, 1(2): 13–16.
- Stozhkov, Y. I., Ermakov, V. I., Makhmutov, V. S. 2001. *Cosmic rays and atmospheric processes*: 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference (ICRC) [Hamburg, (Germany), 2001 august 7 – 15 d.], 4157.

- Stozhkov, Y. I. 2003. The role of cosmic rays in the atmospheric processes. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 29: 913–923.
- Svensmark, H. 1998. Influence of cosmic rays on Earth's climate. *Physical Review Letters*, 81(22): 5027–5030.
- Svensmark, H.; Friis-Christensen, E. 1997. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 59(11): 1225–1232.
- Swank, R. K. 1954. Characteristics of scintillators. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 4: 111–140.
- Telkšnienė, R. 2003. *Cikloniniai ir anticikloniniai orai*. KMU.
- Theodórsson, P. 1996. *Measurement of weak radioactivity*. World Scientific, London, 333 p.
- Tinsley, B. A. 1996. Correlations of atmospheric Dynamics with solar wind induced changes of air-Earth current density into cloud tops. *Journal of Geophysical Research*, 101(D23): 29701–29714.
- Tinsley, B. A.; Heelis, R. A. 1993. Correlations of atmospheric dynamics with solar activity evidence for a connection via the solar wind, atmospheric electricity, and cloud microphysics. *Journal of Geophysical Research*, 98(D6): 10375–10384.
- Treidl, R. A.; Birch, E. C.; Sajecki, P. 1980. Blocking action in the Neorthern Hemisphere: a climatological study. *Atmosphere-Ocean*, 19(1): 1–23.
- Usoskin, I. 2003a. *Heliospheric physics and Cosmic rays*. University of Oulu.
- Usoskin, I. G. 2003b. Long-term variations of cosmic rays and terrestrial environment. *Frontiers of Cosmic Ray Science*, 205–228.
- Usoskin, I. G.; Gladysheva, O. G.; Kovaltsov, G. A. 2004. Cosmic ray-induced ionization in the atmosphere: spatial and temporal changes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66: 1791–1796.
- Usoskin, I. G.; Kananen, H.; Mursula, K.; Taskanen, P.; Kovaltsov, G. A. 1998. Correlative study of solar activity and cosmic ray intensity. *Journal of Geophysical Research*, 103(A5): 9567–9574.
- Usoskin, I. G.; Kovaltsov, G. A.; Korte, M. 2007. Regional cosmic ray induced ionization and geomagnetic field changes. *Geophysical Research Abstracts* 9: 06554.
- Usoskin, I. G.; Kovaltsov, G. 2006. Cosmic ray induced ionization in the atmosphere: full modelling and practical applications. *Journal of Geophysical Research*, 111: D21206.
- Veretenenko, S. V.; Dergachev, V. A.; Dmitriyev, P. B. 2006a. *Long-term changes of intensity of extratropical cyclogenesis and possible associations with solar activity and cosmic ray variations*: 6<sup>th</sup> International Conference Problems of Geocosmos [Saint-Petersburg (Russia), 2006 May 23 – 27 d.], 194–197.
- Veretenenko, S. V.; Thejll, P. 2006b. *Effects of cosmic ray variations on the cyclone development in the North Atlantic*: 6<sup>th</sup> International Conference Problems of Geocosmos [Saint-Peterburg (Russia), 2006 May 23–27 d.], 198–205.

- Veretenenko, S. V.; Dergachev, V. A.; Dmitriyev, P. B. 2007. Solar activity and cosmic ray variations as a factor of intensity of cyclonic processes at midlatitudes. *Geomagnetism and Aeronomy*, 47(3): 375–382.
- Veretenenko, S.; Thejll, P. 2004. Effects of energetic solar proton events on the cyclone development in the North Atlantic. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66: 3939–405.
- Volland, H. 1995. *Handbook of atmospheric electrodynamics*. CRC Press, 432 p.
- Wdowczyk, J.; Wolfendale A. W. 1989. Highest energy cosmic rays. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, 39: 43–71.
- Wentz, J.; Brancus, I. M. 2003. Simulation of atmospheric muon and neutrino fluxes with CORSIKA. *Physical Review D*, 67(7).
- Werner, K.; Chernatkin, V.; Engel, R. and etc. 2005. Ultra-High Energy Cosmic Rays: some general features, and recent developments concerning air shower computations. *American Institute of Physics, Conference proceedings*, 739: 385–396.
- Werth, D. 2004. *Air masses and fronts*. Department of Atmosphere Science at the University of Illinois.
- Wiedenmann, J. M.; Lupo, A. R.; Mokhov I. I.; Tikhonova E. A. 2002. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: block intensity as a diagnostic. *Journal of Climate*, 15(23): 3459–3473.
- Williams, D. L.; Leske, R. A.; Mewaldt, R. A.; Stone, E. C. 1998. Solar energetic particle isotopic composition. *Space Science Reviews*, 85(1-2): 379–389.
- Wolfendale, A. 1999. Cosmic ray. *Fizikai Szemle*: 1.
- Zatsepin, G. T.; Roganova, T. M. 2009. Cosmic ray investigations. *Physics-Uspekhi*, 52(11): 1139–1146.
- Ziegler, J. F. 1998. Terrestrial cosmic ray intensities. *IBM Journal of Research and Development*, 42(1): 117–139.
- Береснев, А. А.; Леонов, В. В.; Павилович, Ч. С.; Стыро, Д. Б. 1988. О колебаниях фона гамма спектрометрической аппаратуры в различных временных интервалах. *Физика атмосферы*, 12: 191–206.
- Стыро, Д. Б. 1983. О возможности прогноза перемещения барических полей по вариациям жетского космического излучения. *Физика Атмосферы*, 8: 95–103.
- Стыро, Д. Б. 1991. О предсказании колебаний атмосферного давления по вариациям жетского космического излучения. *Физика Атмосферы*, 9: 99–112.
- Стыро, Д. Б.; Богданович, А. О. 1991. Некоторые последствия внешних воздействий на гамма-спектрометры и их аналоги. *Физика Атмосферы*, 15: 165–172.



---

## Autoriaus publikacijos disertacijos tema

### Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Styro, D.; Damauskaitė, J.; Kleiza, J. 2010. Estimation of seasonal variations of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure in 2004–2005. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 18(3): 226–233. ISSN 1648–6897 (print), ISSN 1822–4199 (online) (Thomson ISI Web of Science).

Styra, D.; Usovaitė, A.; Damauskaitė, J.; Juozulynas, A. 2009. Leaps in cardiovascular diseases after a decrease of hard cosmic ray flux and atmosphere pressure in Vilnius city in 2004–2007. *International Journal of Biometeorology*. 53(6): 471 – 477. ISSN 0020–7128 (print), ISSN 1432–1254 (online) (Thomson ISI Web of Science).

Styra, D.; Čiučelis, A.; Usovaitė, A.; Damauskaitė, J. 2008. On possibility of short-term prognosis of cyclonic activity after-effects in Vilnius by variation of hard cosmic rays flux. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 16(4): 159–167. ISSN 1648–6897 (print), ISSN 1822–4199 (online) (Thomson ISI Web of Science).

Styro, D.; Usovaitė, A.; Damauskaitė, J.; Juozulynas, A.; Lukšienė, A. 2007. On connection between hard cosmic ray flux, atmospheric pressure variation and the leaps of cardiovascular diseases in Vilnius in 2002. *Acta Medica Lituanica*, 14(3): 205–209. ISSN 1392-0138 (Index Copernicus).

## **Straipsniai kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose**

Styra, D.; Usovaitė, A.; Damauskaitė, J. 2008. On connection between hard cosmic ray flux and atmosphere pressure variations, in *The 7th International Conference „Environmental Engineering“: Selected papers (22-23 May 2008, Vilnius, Lithuania)* 1: 368-373. ISBN 978-9955-28-263-1 (Thomson ISI Proceedings).

Styro, D.; Damauskaitė, J.; Ambrazaitė, D. 2008. Atmosferos slėgio kitimo trumpalaikė prognozė pagal kietosios kosminės spinduliuotės srauto variacijas 1,2-1,6 ir 1,6-4,0 MeV energiniuose diapazonuose, iš *Fizika ir fizinė kompiuterija, 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ medžiaga*. Vilnius: Technika, p. 163 – 169. ISBN 978-9955-28-301-0.

Damauskaitė, J.; Styra, D.; Usovaitė, J. 2008. Sąryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės, atmosferos slėgio variacijų ir širdies bei kraujagyslių ligų paūmėjimų paieška Vilniaus mieste 2004 metais, iš *Aplinkos Apsaugos 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ medžiaga* [elektroninis išteklius]. Vilnius: Technika, p. 412–420. ISBN 978-9955-28-385-0.

Styro, D.; Usovaitė, A.; Čiučelis, A.; Damauskaitė, J. 2007. О возможности кратковременного прогноза аномальных явлений на земле по колебаниям потока жесткого космического излучения // Международный симпозиум "Физика атмосферы: наука и образование" (11–13 сентября 2007 г., С. Петербург-Петродворец): сборник тезисов = International symposium «Atmospheric physics: science and education» / Saint-Petersburg State University. Санкт-Петербург, p. 268-271.

Damauskaitė, J. 2007. Prognostinio ryšio tarp kietosios kosminės spinduliuotės ir atmosferos slėgio paieška, iš *Fizika ir fizinė kompiuterija, 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ medžiaga*. Vilnius: Technika, p. 196 – 201. ISBN 978-9955-28-136-8.

---

## Priedai

Priedai pateikiami elektroninėje laikmenoje.

A priedas. Nagrinėjamų dydžių statistinių parametrų rezultatai

B priedas. Tiesinės regresijos analizės rezultatai

C priedas. Prognozės efektyvumo rezultatai

D priedas. Sinoptiniai žemėlapiai

Jovita DAMAUSKAITĖ

KIETOSIOS KOSMINĖS SPINDULIUOTĖS TYRIMAS IR  
TAKYMAS METEOROLOGINIAMS PROCESAMS PROGNOZUOTI

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
aplinkos inžinerija ir kraštovarkla (04T)

Jovita DAMAUSKAITĖ

RESEARCH AND APPLICATION OF HARD COSMIC RAY FLUX FOR  
FORECASTING METEOROLOGICAL CONDITIONS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Environmental Engineering (04T)

2010 10 25. 10,75 sp. l. Tiražas 20 egz.  
Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
leidykla „Technika“,  
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,  
<http://leidykla.vgtu.lt>  
Spausdino UAB „Ciklonas“,  
J. Jasinskio g. 15, 01112 Vilnius